

34797

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ,
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EVSEL VE ENDÜSTRİYEL KATI ATIKLARIN
YAKILMASI İLE İLGİLİ
SİSTEMLERİN ARAŞTIRILMASI VE
EKONOMİKLİĞİNİN İNCELENMESİ

Mak. Müh. İsmail KARAR

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Oğuz SOYLU

İSTANBUL, 1994

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

SEMBOL LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	vii
TEŞEKKÜR	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çöp Nedir. ?	1
1.2. Katı Atıkların Yapısı	2
2. ÇÖP YOK ETME SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ	7
2.1. Kompostlaştırma	7
2.1.1. Fiziksel Özellikler	8
2.1.2. Kimyasal Bileşim	8
2.1.3. Mikroorganizma Sayısı	9
2.1.4. Ekolojik Faktörler	9
2.1.4.1. Su İçeriği	9
2.1.4.2. pH Değeri	9
2.1.4.3. Hava Miktarı	10
2.1.4.4. Sıcaklık	10
2.2. Depolama	10
2.3. Piroliz Yöntemi	13
2.4. Yok Etme Metodlarının Karşılaştırılması	14
3. KATI ATIKLARIN YAKILMASI	17
3.1. Yanma ve Yanmada Oluşan Özellikler	17
3.2. Yanma Özellikleri	17
3.2.1. Fiziksel Özellikler	17
3.2.1.1. Tane Büyüklüğü ve Dağılımı	17
3.2.1.2. Özgül Ağırlık	18
3.2.1.3. Çöp Yığınlarının Hava Direnci	18

3.2.2. Kimyasal Özellikler	19
3.2.2.1. Alt Isıl Değer	19
3.2.2.2. Yanabilir Madde , Su ve Kül İçeriği	20
3.2.2.3. Zararlı Madde İçeriği	21
3.3. Hava ve Duman Gazı Miktarları	24
3.3.1. Hava Miktarları	24
3.2.2. Duman Gazı Miktarı	25
3.4. Yakma İle İlgili Kuramsal ve Pratik Bilgiler	26
3.5. Çöp Yakma Fırını Dizaynı	29
3.6. Kontrollü Hava İle Yanmalı Çöp Yakma Fırınları	31
3.6.1. Aralıklı Çalışan Kontrollü Hava İle Yanmalı Çöp Yakma Fırınları	33
3.6.2. Devamlı Olarak Çalışan Kontrollü Hava İle Yanmalı Çöp Yakma Fırınları	34
3.7. Döner Fırınlara	35
4. TİCARİ VE ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN YAKILMASI	37
4.1. Çöplerin Sınıflandırılması	37
4.2. Çöp Yakma Fırınları	37
4.3. Yanma Prensibleri	40
4.4. Ateşleme Odası	41
4.5. Uzunluk-Genişlik Oranları	42
4.6. Ark Yüksekliği	42
4.7. Izgara Yüktü	42
4.8. İkinci Yanma Odası	44
4.9. Yanma Havası	45
4.10. Ek Isı	46
4.11. Dizayn Parametreleri ve Hesapları	47
4.12. Çöp Yakma Fırınları ve Dizayn Sınırlandırmaları	50
4.13. Potalı ve Hat Tipi Çöp Yakma Fırınlaraının Karşılaştırılmaları	50
4.14. Çöp Yakma Fırınlaraının İşletimi	51
4.15. Yapı Özellikleri	54
4.15.1. Refraktör Duvarları , Kaplama (Astar) ve İzolasyon	54
4.15.2. Genleşme Bağlantıları	55
4.15.3. Çelik Özellikleri	55

4.15.4. Izgara ve Ocaklar	55
4.15.5. Yanma Havası Girişi	57
4.15.6. Temeller	57
4.15.7. Destekler	57
4.16. Kağıt Yakan Çok Odalı Çöp Yakma Fırını Dizayn Örneği	57
5. EVSEL ATIKLARIN YAKILMASI	62
5.1. Çöp Yakma Fırını Dizaynı	62
5.1.1. Çöp Yakma Fırınının Yerleşimi	62
5.1.2. Toplanan Çöp İçin Gerekli Donanımlar	62
5.1.2.1. Depolama Kapları	64
5.1.2.2. Vinçler	64
5.1.3. Fırınlr	65
5.1.3.1. Kapasite ve Çalışma Periyodları	65
5.1.3.2. Fırın Boyutları	65
5.1.3.3. Fırın Düzenlemesi	68
5.2. Çöp Yakma Fırınlrının İşletilmesi	69
5.2.1. Çöplerin Sınıflandırılması	69
5.2.2. Yanma	70
5.2.3. Üst Hava	70
5.2.4. Hava Fazlası	70
5.2.5. Isı Dengesi	71
5.2.6. Fırın Sıcaklığı	73
5.3. Refraktör Malzemeleri	73
5.4. Su Perdesi	74
5.5. Çöp Yakma Fırını Dizayn Örneği	75
6. ÇÖP YAKMA FIRINLARININ EKONOMİKLİĞİNİN İNCELENMESİ	81
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	

SEMBOL LİSTESİ

- A = Alan , m^2
 A_G = Izgara Alanı , m^2
 A_s = Baca Alanı , m^2
 A_T = Toplam Hava Kanalı Alanı , m^2
 A_{CC} = Yanma Odası Alanı , m^2
 A_{FP} = Alev Kanalı Alanı , m^2
 A_{MC} = Karışım Odası Alanı , m^2
 A_{MCP} = Ara Duvar Alanı , m^2
 C_o = Toplam Karbon Miktarı , Nm^3 / kg
 C_{oe} = Gazlaşabilir Toplam Gaz Miktarı , Nm^3 / kg
 C_{og} = t' Zamanda Buharlaşan Karbon Miktarı , Nm^3 / kg
 c_p = Sabit Basıncıdaki Özgül Isı , $kJ / kg \text{ } ^\circ C$
 G_t = t' Zamanda Oluşan Gaz Miktarı , Nm^3 / kg
 H_A = Ark Yüksekliği , m
 H_u = Alt Isıl Değer , $kJ / kg Y$
 h_{sb} = Buharlaşma Gizli Isısı , kJ / kg
 I_{tf} = Gerçek Ocak Sıcaklığındaki Duman Gazlarının Entalpisi , kJ / kgY
 I_{tu} = Çevre Sıcaklığının Entalpisi , kJ / kgY
 I_{tfo} = Kuramsal Ocak Sıcaklığındaki Duman Gazlarının Entalpisi , kJ / kgY
 k = Tepkime Katsayısı
 L = Uzunluk , m
 L_G = Izgara Yüğü , $kJ / m^2 h$
 m_N = Nem Miktarı , kg / h
 \dot{m}_N = Hacimsel Olarak , Nem Miktarı , m^3 / h
 \dot{m}_{FP} = Hacimsel Olarak , Alev Kanalından Geçen Gaz Miktarı , m^3 / h
 m_{KK} = Kuru Kağıt Kütlesi , kg / h
 m_{TYS} = Yanma Sonrası , Toplam Yanma Ürünleri Miktarı , kg / h
 \dot{m}_{TYS} = Hacimsel Olarak , Yanma Sonrası , Toplam Yanma Ürünleri Miktarı , m^3 / h
 m_a = Kül Miktarı , kg / h

- m_{ϕ} = Çöp Miktarı , kg / h
 m_h = Hava Miktarı , kg / h
 \dot{m}_h = Hacimsel Olarak , Yanma Havası Miktarı , m^3 / h
 m_y = Yakıcıda Kullanılan Yakıt Miktarı , kg/h
 m_{ag} = Atık Gaz Miktarı , kg / h
 Q = Net Isı , kJ / h
 Q' = Toplam Isı Kaybı , kJ / h
 Q_T = Toplam Isı , kJ / h
 Q_1 = Işınım , İletim , Konveksiyon ve Sızıntılardan Oluşan Kayıp Isı , kJ / h
 Q_2 = Nemin Buharlaşması İçin Gerekli , kJ / h
 Q_3 = Yanma Sonrası Oluşan Suyun Buharlaşması İçin Gerekli Isı , kJ / h
 q_f = Ocak Yüğü , kJ / $m^3 h$
 R_c = Çöp Miktarı (Yüğü) , kg / h
 t = Sıcaklık , °C
 t' = Zaman
 t_a = Baca Gazı Sıcaklığı , °C
 t_f = Gerçek Ocak Gazı Sıcaklığı , °C
 t_u = Çevre Sıcaklığı , °C
 t_l = Ortalama Gaz Sıcaklığı , °C
 t_{fo} = Kuramsal Ocak Gazı Sıcaklığı , °C
 V_f = Ocak Hacmi , m^3
 v = Hız , m / s
 v_s = Baca Gazı Hızı , m / s
 v_{CC} = Yanma Odası Gaz Hızı , m / s
 v_{FP} = Alev Kanalındaki Gaz Hızı , m / s
 v_{MC} = Karışım Odasındaki Gaz Hızı , m / s
 v_{CMP} = Ara Duvar Kanalı Gaz Hızı , m / s
 η = Verim
 ρ = Yoğunluk , kg / m^3

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Ev Çöplerinin Yıllara Göre Tahmini Gelişimi	18
Şekil 3.2. Tanner Üçgeni	20
Şekil 3.3. Çöpün Alt Isıl Değerine Bağlı Olarak Kuramsal Hava İhtiyacı	25
Şekil 3.4. Çöpün Alt Isıl Değeri ve Hava Fazlalık Katsayısının Fonksiyonu Olarak Duman Gazı Değerleri	26
Şekil 3.5. Sabit Izgaralı İki Bölmeli Hat Tipi Çöp Yakma Fırını	30
Şekil 3.6. Kontrollü Hava İle Yanmalı Çöp Yakma Fırını	32
Şekil 3.7. Döner Fırın	36
Şekil 4.1. Çok Odalı Potalı Tip Çöp Yakma Fırını	39
Şekil 4.2. Çok Odalı Hat Tipi Çöp Yakma Fırını	39
Şekil 4.3. Çok Odalı Çöp Yakma Fırınları İçin , Izgara Alanı İle Ark Yüksekliği Arasındaki İlişki	43
Şekil 4.4. Çok Odalı Çöp Yakma Fırınları İçin , Çöp Miktarı İle Izgara Yüğü Arasındaki İlişki	44
Şekil 5.1. Yamaca Yerleştirilmiş Çöp Yakma Fırını Tesisi	63
Şekil 5.2. Hareketli Izgaralı Çöp Yakma Fırını	66
Şekil 5.3. Su Soğutmalı Hareketli Izgaralı Çöp Yakma Fırını	66
Şekil 5.4. Hareketli Izgaralı Prizmatik Küme Beslemeli Çöp Yakma Fırını	67
Şekil 5.5. I - t Diyagramı	80

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1.1. Gelişmiş Ülkelerde Kişi Başına Yıllık Çöp Miktarı	2
Tablo 1.2. Çöplerin Sınıflandırılması	3
Tablo 1.3. Çöp Bileşenlerine Ait Analiz Değerleri	5
Tablo 2.1. Bazı Maddelere Ait (C / N) Oranları	9
Tablo 2.2. Çöp Yok Etme Sistemlerinin Karşılaştırılması	15
Tablo 2.3. Özel Endüstri Dallarındaki Çöpün Özellikleri	16
Tablo 3.1. Katı Atıkların Yanabilirliğinin Tahmini İçin Yaklaşık Değerler	21
Tablo 3.2. Zararlı Madde Konsantrasyonu	22
Tablo 3.3. Aralıklı Çalışan Kontrollü Hava İle Yanmalı Çöp Yakma Fırının Günlük Çalışma Periyodu	33
Tablo 3.4. Kontrollü Hava İle Yanmalı Çöp Yakma Fırınlarında Çalışma Parametreleri ve Çalışma Oranları	34
Tablo 4.1. Kağıt , Ağaç ve Mutfak Atıkları İçin Yanma Özellikleri ve Yanma Verileri	38
Tablo 4.2. Çok Odalı Çöp Yakma Fırınlarında Dizayn Faktörleri	48
Tablo 5.1. %200 - %100 Hava Fazlasının Fırın Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi	72
Tablo 5.2. 870 °C Fırın Sıcaklığında , Durgun Havada, Soğuk Yüzey Sıcaklığı ve Işınım Kayıplarının Fırın Duvarına Etkileri	74

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında ; günümüzün en önemli sorunlarından biri olan evsel ve endüstriyel katı atıkların, yakılarak yok edilmesi incelenmiştir. Bu amaca yönelik yaptığım çalışmalar esnasında, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendirerek, bu çalışmanın oluşmasında bana her türlü desteği ve yakınlığı gösteren ve en önemlisi bilgi ve tecrübe potansiyelimin gelişmesinde sonsuz yararlar sağladığım, tez danışmanım ve hocam Sayın Prof. Dr. Oğuz SOYLU ' ya , kaynakların oluşmasında büyük bir özveri ile yardımlarda bulunan TÜBİTAK Marmara Merkezi Enerji Sistemleri Bölümünden Mak Müh. Yücel ERDALLI 'ya , tezin oluşumunda ve yazılımında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Ertan YOLDAŞ , Arş. Gör. Muammer AKGÜN ve Mak . Müh . Haluk ÇAKAR 'a teşekkür ederim.

İstanbul , 1994

İsmail KARAR

ÖZET

Yakma ve araziye gömme yanabilen atık maddeleri yok etmek için son zamanlarda tercih edilen metodlardır. Ancak , özellikle büyük halk kitlesinin bulunduğu yerlerde çöplüklerin şehir merkezinden uzakta bir noktada seçilmesi , yakma işlemini daha uygun hale getirmektedir

Yakma fırını dizaynı yanan çöplerin özelliklerinin ve tiplerinin bilinmesiyle başlar. Kimyasal bileşimi ve nem içeriği gibi özelliklerin kesin olarak bilinmesi dizayn açısından önemlidir. Bu özelliklerin ve besleme oranlarının değişmesi , çöp yakma fırınlarının da önemli gelişmesine neden olur. Diğer yanma proseslerinde , yakıt özellikleri ve oranları tahmin edilebildiği gibi tamamen de kontrol edilebilir. Bu ideal durum bir çok çöp yakma proseslerinde sağlanamaz. Buna ilaveten , çöp bileşimindeki nem , uçuculuk , farklı kül bileşimi , yoğunluk , yanma ısısı , yanma oranı ve partikül büyüklükleri çok farklı değerler gösterir. Tüm bu faktörler , çalışma oranlarını ve alev yayılımını doğrudan etkiler.

Bu çalışmanın , ilk ve ikinci bölümlerinde çöpün özellikleri ve sınıflandırılmaları yapılarak , yakma ile diğer yok etme sistemlerinin karşılaştırılması incelenmiştir. Üçüncü bölümde , çöp yakma olayında meydana gelen olaylar incelenmiş , yanabilirliği hakkında bilgiler verilmiştir. Son bölümlerde ise , evsel ve endüstriyel atık yok etme fırınları incelenerek , bu fırınlara ait dizayn örnekleri verilmiştir.

SUMMARY

Incineration and landfill are presently the preferred methods for combustible waste disposal. However, selecting landfill sites' distances from centres, incinerations may become the common method of disposal, particularly in large communities.

The development of incinerator designs begins with a basic knowledge of the types and quantities of refuse to be burned. It is particularly helpful to give information on certain properties, including chemical composition and moisture content. These specific properties and fluctuation in the charge in batch operations make the development of satisfactory incinerator designs. In most other kinds of combustion processes, fuel quality and fuel rates are predictable and usually are precisely controlled. This ideal situation does not prevail in most refuse incineration processes. In addition to the wide variance in refuse composition, wetness and volatility, there are differences in ash content, bulk density, heat of combustion, burning rate, and component-particle size with which to contend. All of these factors affect to the operating rate, flame travel, combustion temperatures, combustion-air requirements and the need for auxiliary heat.

In first two chapters of this study, making classification and obtaining specification of refuse, incineration has been compared with the other disposal systems. In third chapter, The cases of solid waste's incineration have been observed and the knowledges of combustibility are given. Finally, municipal and industrial incinerator has been researched and the examples of design about these incinerators were calculated

1. GİRİŞ

1.1 ÇÖP NEDİR ?

Çevre kirlenmesini önlemek için , katı atıkların yerüstü ve yeraltı sularını kirletmeyecek şekilde depolanması zorunludur.Katı atıklar denilince evlerden çıkan çöpler , sanayi atıkları ve sokakların süpürülmesinden elde edilen çöpler anlaşılır. Günümüzde çöp temizliği genellikle bölgesel belediyelerce toplanıp , oturma saha- larının dışındaki çukurlara , dere , göl , nehir ve deniz sularına dökme yöntemiyle yapılmaktadır.Çöplerin bu şekilde ucuz yollu fakat, sağlık kurallarına ters düşecek bir şekilde ortadan kaldırması uygun düşmemektedir.

Kendi atıklarımızla , havayı , karayı ve suları önemli derecede kirletiyoruz . İnsanoğlunun yararı için nükleer enerjideki gelişmeler , dünya sınırları dışında yapılan çalışmalar , denizaltındaki keşiflerin yanında , özellikle yanabilir artıkların yok edilmesi için oldukça ilkel metodlara sahip olmak gerçekten düşündürücüdür.

Son zamanlara kadar , özellikle çöp patlaması , çöplerin , süprüntülerin kaldırılmadıkça meydana gelen kirliliğin çok az farkındaydık. Sağlıksız yok etme çalışmaları havanın , karaların ve suların kirlenmesine önemli derecede katkıda bulunur. Atıkları yok etme çalışmaları geliştirilmedikçe , bu problemler daha ciddi bir hal olacaktır.

Yakma ve araziye gömme , yanabilen atık maddeleri yok etmek için son zamanlarda tercih edilen metodlardır. Ancak özellikle büyük halk kitlesinin bulunduğu yerlerde çöplüklerin şehir merkezlerinden uzakta bir noktada seçilmesi , yer altı su kaynaklarını kirletmesi düşünüldüğünde , yakma işlemi artık maddeleri yok etmek için kullanılan en iyi yöntem olarak göze çarpmaktadır.

Atıkları yok etmenin amacını kısaca özetleyecek olursak;

1- Binalardan atıkları uzaklaştırarak haşerelerden kurtulmak,kokuyu önlemek ve yangın tehlikesini azaltmak.

2- Gerek toplayarak gerekse yakarak kara ve denizlerdeki atıklardan kurtulmak.

3 - Madde 2 'deki atıkları yeniden kullanmak ; Atık ısıdan yararlanma,kompost- lama , yanma ürünü gazlar için polarizasyon veya damıtma,teneke,konserve kutuları gibi maddelerden çeliğin tekrar kullanılabilir hale getirilmesi , bakır , alüminyum , cam , gazete

kağıdı ve mukavva gibi maddelerin seçilerek ayrılmasını içeren metodlar kullanarak artıkları yeniden kullanılabilir hale getirmek.

Yakmanın diğer artık yok etme metodlarına nazaran iki belirgin avantajı vardır. Birincisi, binalara yerleştirilerek, özel meskenlerdeki toplanan atık miktarını azaltmak bu şekilde koku ve haşerelerden kurtulmak için iyi bir şekilde sterilize ve okside edilerek atık maddeleri çürütmek. İkincisi geride kalan kül daha az yer kaplayacak, daha düzenli sıkıştırma yapılabilecektir. Bu özellik sınırlı çöplük sahası bulunan büyük şehirler için önemlidir.

1.2 KATI ATIKLARIN YAPISI

Yanmanın belirli bir sınırlaması vardır. Anakentlerdeki (büyük şehirlerde) atıkların yaklaşık olarak yarısı yanabilir artıktır. Yanmanın özelliklerinin tamamıyla anlaşılabilmesi için bir fırın planlandığında, atık yükleme projesinin çok dikkatli bir şekilde hazırlanması gerekir. Yanmayan evsel atıklar, genellikle bir kap içerisinde mutfak atıkları ve yanabilir atıklarla beraber toplanır ve çöp kamyonları ile taşınır. Bu uygulama ev sahipleri açısından elverişli ve ekonomiktir.

Tablo 1.1 Gelişmiş Ülkelerde Kişi Başına Yıllık Çöp Miktarı

SINIFLANDIRMA	AĞIRLIK (Kg)	AĞIRLIK YÜZDESİ (%)	SIKIŞTIRILAMAYAN HACİM (m ³)	HACİM YÜZDESİ %	ÖZGÜL AĞIRLIK (Kg/m ³)
Mutfak atıkları	68	9.5	0.11	4.0	593.27
Çöp ve bütün yanabilir maddeler (mutfak artıkları hariç)	453.6	62.5	2.4	81.0	189.8
Bütün yanmayan maddeler	204	28.0	0.46	15.0	445
TOPLAM	725.6	100	2.97	100	

Tablo 1.2 Çöplerin Sınıflandırılması .

KATI ATIKLAR	BİLEŞİMİ	KAYNAĞI
MUTFAK ATIKLARI	- Yiyeceklerin hazırlanmasında ve servisindeki atıklar, - Market çöpleri , et atıkları	
ÇÖP	Yanabilir (Organik esasl) Kağıt , mukavva , karton , ağaç ve talaşı , plastikler , bez parçaları , deri , lastik , kauçuk ot ve yapraklar.	- Evler , kurumlar - Hotel , mağaza, restaurant, market gibi ticari şirketler
	Yanmayan (İnorganik esasl) Metaller , konserve kutuları , toz , çamur , taş , tuğla , seramik , çanak , çömlek , cam , şişe , diğer mineral çöpler.	
KÜLLER	Yemek pişirmede ve binaların ısıtılması için kullanılan ateşlerin külleri.	
BÜYÜK HACİMLİ ATIKLAR	Büyük hacimli otomobil parçaları , tekerlekler soba , buzdolabı gibi cihazlar , mobilya , sandıklar , ağaçlar , dal parçaları , kütükler	
SOKAK ÇÖPLERİ	Sokak süprüntüleri , tozları , yapraklar	Caddeler , kaldırımlar boş arsalar gibi yerler
HAYVAN CESETLERİ	Küçük hayvanlar : kedi , köpek Büyük hayvanlar : at , inek	
HURDA ARAÇLAR	Otomobiller , kamyonlar	
BİNA YAPIM VE YIKIM ATIKLARI	Kereste , çatı malzemeleri , kaplama malzemeleri , moloz , beton kırıntuları , boru elektrik kabloları gibi	
ENDÜSTRİYEL ÇÖPLER	Endüstriyel proseslerde ve üretim operasyonlarında meydana gelen katı artıklar. Ağaç , plastik , metal kırıntılar ,	Fabrikalar , güç santralleri
ÖZEL ÇÖPLER	Zehirli artıklar : patolojik artıklar , radyoaktif maddeler Gizli artıklar : gizli dökümanlar	Ev , hastane , kurum , mağaza , endüstri
HAYVAN VE TARIM ATIKLARI	Gübre , tahl artıkları	Tarım arazileri , köyler
LAĞIM ATIKLARI	Kum , mikroplu çamur tankları	Lağım temizleme tesisleri , mikroplu tanklar

Endüstride üretilen birçok tipteki atık maddelerden gaz atıkları , katı atıklara nazaran tutmak daha kolaydır . Bunun nedeni katı atık içinde bulunan maddelerin çokluğundan kaynaklanmaktadır. Katı atıklar yanabilir veya yanmayabilirler .Yığın halindeki maddeler sıkıştırılabilir , bölünebilir ve havada taşınabilen maddeler içerirler.Rutubet nedeniyle tamamıyla ıslak veya kuru olabilirler .

Endüstriyel katı atıklardan kaynakların yeniden kazanılması için birçok olasılıklar vardır . Bunun için de atık maddelerin, yok etme metodu belirlenmeden önce yapısı incelenmelidir .

Katı atıkların yok edilmesi için iyi bir çalışma sistemi veya metodu belirlemek için birçok hususun bilinmesi gerekir. Örneğin ;

1-Katının büyüklüğü :

Katı atıkların büyüklükleri incelenmeleri açısından uygun büyüklükte olmalıdır. Yok edilen maddeler ağırlıkları kadar hacim kaplamalıdır . Bu bilgi bize, atık maddelerin yok edilmesi kadar işlenmesi hakkında bilgi verir .

2-Fiziksel , kimyasal karakteristikleri ve içindeki zararlı maddeler :

Atık maddelerin fiziksel formu ister katı ister yapışkan madde , isterse sıvı katı karışımı olsun kolayca ayrılabilirler . Atık maddelerin ısıtma değeri , rutubeti , uçucu madde miktarı ve özellikle yok etme metodunun belirlenmesi için kimyasal formülünün bilinmesi gibi birçok kriterin bilinmesi çok önemlidir . Örneğin katı atık madde kükürt içeriyorsa vede yakılabiliyorsa ne kadar kükürt içerdiğini bilmek son derece önemlidir . Çünkü yakma fırınından atmosfere yayılan kükürt miktarında bir sınırlandırma vardır .

3-Atık içindeki yeniden kazanılabilen maddelerin belirlenmesi :

Bu değerler birkez belirlendikten sonra artık maddelerin tutulması ve yok edilmesinin anlamı da ortaya çıkacaktır . Tablo 1.3 de çöp bileşenlerine ait analiz değerleri verilmiştir .

Tüm bu maddeleri geri kazanarak iki önemli hususu başarmış oluruz . Birincisi değerli kaynakları yeniden kullanabiliriz . İkincisi kurtarılması mümkün olmayan atık maddeler için gerekli alanlar elde etmiş oluruz .

BİLEŞEN	AĞIRLIK OLARAK %	NEM %	ANALİZİ (% KURU AĞIRLIK)							ISIL DEĞER kJ / kg
			UÇUCU MADDE	KARBON	HİDROJEN	OKSİJEN	AZOT	KÜKÜRT	YANMAYAN MAD.	
ÇÖPLER % 64										
AĞAÇ	2.4	20	84.9	50.5	6	42.4	0.2	0.05	1	20,033.8
OT	4	65	-	43.3	6	41.7	2.2	0.05	6.8	17,893.9
ÇALI	1.5	40	-	42.5	5.9	41.2	2	0.05	8.3	18,375.4
YEŞİLİK	1.5	62	70.3	40.3	5.6	39	2	0.05	13	16,461.1
YAPRAK	5	50	-	40.5	6	45.1	0.2	0.05	8.2	16,505.3
DERİ	0.3	10	76.2	60	8	11.5	10	0.4	10.1	20,585.1
LASTİK	0.6	1.2	85	77.7	10.4	-	-	2	10	26,353.6
PLASTİK	0.7	2	-	60	7.2	22.6	-	-	10.2	33,420
YAĞ, BOYA	0.8	0	-	66.9	9.7	5.2	2	-	16.3	31,168.4
MUŞAMBA	0.1	2.1	65.8	48.1	5.3	18.7	0.1	0.4	27.4	19,329
PAÇAVRA BEZ	0.6	10	93.6	55	6.6	31.2	4.6	0.13	2.5	17,798.5
KAĞIT	42	10.2	84.6	43.4	5.8	44.3	0.3	0.2	6	17,612
SOKAK SÜPRÜNTÜLERİ	3	20	67.4	34.7	4.8	35.2	0.1	0.2	25	13,956
TOZ, TOPRAK	1	3.2	21.2	20.6	2.6	4	0.5	0.01	72.3	8,815.54
SINIFLANDIRILMAMIŞ	0.5	4	-	16.6	2.5	18.4	0.05	0.05	62.5	6,978
YEMEK ATIKLARI % 12										
MUTFAK ARTIKLARI	10	72	53.3	45	6.4	28.8	3.3	0.52	16	19,733.8
YAĞLAR	2	0	-	76.7	12.1	11.2	0	0	0	38,844.2
YANMAYANLAR % 24										
METALLER	8	3	0.5	0.8	0.04	0.2	-	-	99	288.4
CAM VE SERAMİKLER	6	2	0.4	0.6	0.03	0.1	-	-	99.3	151.2
KÜLLER	10	10	3	28	0.5	0.8	-	0.5	70.2	9,704
KOMPOZİT (KARIŞIK) ÇÖPLER										
TÜM ÇÖPLER	100	20.7	-	28	3.5	22.4	0.33	0.16	24.9	14,428.2

Tablo 1.3 Çöp Bileşenlerine Ait Analiz Değerleri

Endüstriyel katı atıkları yok etme problemi, şehir halkının yüz yüze kaldığı katı atıkları yok etme probleminden şüphesiz farklıdır . Belediyeler , çok çeşitli sokak çöpleri ki bunların içerisinde otomobil atıkları , mobilya parçaları , inşaat malzemeleri , araçları gibi birçok maddeleri toplamak zorundadırlar .Diğer yandan endüstri ise genel hatlarıyla aşağıda sınıflandırılmış maddelerle ilgilenirler ;

- 1-Ofis kağıtları , kampanya sonrası ortaya çıkan kağıt parçaları
- 2-Plastik veya plastik olmayan karton veya mukavva kutular
- 3-Ham madde içeren tahta ve odun parçaları
- 4-Plastik kaplı çok katlı torbalar
- 5-Plastik kaplı fiber bidonlar ve kaplar
- 6- Özel üretim dışı katı maddeler

Buradaki ilk beş madde kolayca anlaşılabilir ve değerlendirilebilir . Fakat son sıradaki madde çok sayıda olanak sunmaktadır. Polietilen , propilen , polivinil klorid ve diğer çok çeşitli reçine ve plastik üreten fabrikalar üretim ayrıntıları ile karşılaşmamak için artık maddelerini yok etmek zorundadır . Yok etme metodu çok dikkatli seçilmeli ve iyileştirme ona göre düşünülmelidir .

2- ÇÖP YOK ETME SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Hayat standartlarının artması , endüstrileşmenin hızla yayılması beraberinde büyük bir çevre kirliliği sorununun ortaya çıkmasına yol açmaktadır . Bunun yanısıra kullanılan mevcut enerji kaynaklarının azalması , insanoğlunu yeni kaynak araştırılmasına zorlamaktadır . Evsel ve endüstriyel faaliyetler sonucu ortaya çıkan katı , sıvı veya gaz halindeki artıklar direkt olarak tabiata verilmektedir . Bunun sonucu olarak hava kirliliği , su kirliliği ve katı artık probleminin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır .

Katı atıkların çevreye etkileri ve çözüm önerileri , onların nasıl ve nerede imha edileceğinden ibaret değildir . Katı atıkların üretilme biçimleri , üretildikten sonra depolanmaları , taşınmaları , değerlendirilip imha edilmeleri başlıbaşına bir çevre sorunudur . Sorunun çözümünde , nitelikleri gereği bir bütün oluşturan bu faktörler hem ayrı ayrı hem de bir bütünlük içinde ele alınmalıdır .

Çöp ve katı atıkların yok edilmesi için uygulanan 3 klasik yöntem vardır.

- 1- Yakma
- 2- Kompostlaştırma
- 3- Depolama
- 4- Diğer (püroliz , tekrar kazanma , presleme v. s.)

Yakarak katı atıkları yok etmek tezin ana konusunu oluşturduğundan bu bölümde diğer yok etme metodları kısaca tanıtılacaktır .

2.1 - KOMPOSTLAŞTIRMA

Kompostlaştırma yöntemi prensib olarak, katı atıkların içinde bulunan organik ayrışabilir maddelerin mikroorganizmalar tarafından, ideal koşullarda (yeterli su , hava sıcaklık , tane yapısı , pH) biyokimyasal ayrıştırılması esasına dayanmaktadır . Teknik olarak bu işlem statik ve dinamik olmak üzere iki ana yöntemle yapılmaktadır . Genel anlamda uygulanan yöntem sayısız denecek kadar çoktur . İzmir'de Halkapınar-Çiğli'de bir kompostlama tesisi bulunmaktadır.Bu tesis Dono-Tamburu yöntemi çalışır dinamik yöntemdir.Tambur içinde (3.5 m çapında x 26 m uzunluğunda) 1-5 gün arasında kalan çöpler ön ayrışmaya uğrarlar ve bu arada metaryelin sıcaklığı 60-70 °C ' yi bulur. Bu sahada da biyolojik dezenfeksiyon olmaktadır[1].

Kompostlaştırma işlemi biyokimyasal bir reaksiyon olduğundan, katı atıkların bu reaksiyona elverişli olup olmadığı şu faktörlerle belirlenir.

- 1- Fiziksel özeliği
- 2- Kimyasal bileşimi
- 3- Mikroorganizma kapasitesi
- 4- Mikroorganizmanın hayati faaliyetlerine tesir eden ekolojik faktörler . (su hava, sıcaklık,pH)
- 5- Materyalin hazırlanması ve kompostlaştırma metodu

2.1.1. Fiziksel Özellikler

Evsel katı atıkların özeliği , menşesine , yani geliş yerine ve mevsime bağlı olduğu kadar hazırlanma çeşidine de bağlıdır. Büyük parçalı ve emici özeliği olan katı atık, fazla su veya çamurla işlem görebilir. Ayrıca, hava girişi kolay olacağından yığın yüksekliğide büyük tutulabilir. Buna karşılık, ince taneli veya çok küçük parçalara ayrılmış maddeler , çürüme organizmaları için daha büyük faaliyet sahası sağlar. Fakat , sıkı olacağından hava girişini engeller ve anaerobik bir ortama sebep olabilir. Bu durumu önlemek için havalandırma yapılmalı yada yığın sık sık aktarılmalıdır.

2.1.2. Kimyasal Bileşimi

Katı atık bileşimlerinin , bilhassa karbon - azot oranının (C / N) tepkime üzerine önemli bir etkisi vardır. Çünkü , katı atıklar içinde , mikroorganizma faaliyetleri için gerekli olan Ca , S , P , Mg ve C gibi besin maddeleri yeteri kadar mevcut olmasına rağmen, mikroorganizmanın yapı taşlarından biri olan azot (N) elementi genellikle yeteri kadar bulunmamaktadır. Toprakta bulunan organik maddelerin (C / N) oranı ortalama 10 olarak tespit edilmiştir. Yapılan araştırmalarda (C / N) oranının 35 ' den büyük olması halinde azot (N) tamamen tutulmuş,(C/N)<20 olması halinde azotun serbest kalabileceği tespit edilmiştir. Optimum (C / N) oranı için çeşitli araştırmacılar tarafından değişik değerler verilmiştir.Hepsinin birleştikleri konu optimum (C/N) oranının 35 olduğu ve maksimum (C / N) değerinin 50 olması gerektiğidir. Bir fikir vermek için bazı maddelerin (C / N) oranları aşağıdaki tabloda verilmiştir[1].

Tablo 2.1 Bazı Maddelere Ait (C / N) Oranlar

MADDE	(C / N)
Aktif Çamur	6-8
Mutfak Artıkları	25
Hızır Talaşı	511
Saman	128

Tepkime için önemli olan (C / N) değeri tepkime sonrasında kompostun tarım alanlarında kullanılması halinde önemlidir. Kompost yapma işleminin olabilmesi için ortamda zehirlenme tesiri yapacak maddeler bulunmamalıdır.

2.1.3. Mikroorganizma Sayısı

Kompostlaştırma işlemi bir biyokimyasal işlem olduğundan , ortamda ne kadar çok mikroorganizma varsa , tepkimede okadar hızlı hareket eder. Genel olarak evsel katı ve sıvı atıklarda bol miktarda bakteri vardır. Ortam mikroorganizmaların yaşamasına elverişli ise birdenbire çoğalırlar.

2.1.4. Ekolojik Faktörler

2.1.4.1. Su İçeriği

Mikroorganizmalar, besinlerini ancak suda çözülmüş halde zarları içine alabildiklerinden beslenmeleri için ortamın sulu olması gerekir. Yeterli su kompostlaştırma işlemi için gerekli fakat, fazla olması halinde havalandırmayı etkilediğinden zararlıdır. Tepkimenin devam edebilmesi için minimum su içeriği % 30 ve optimum su içeriği %40 - % 60 arasında olması gerekir[1]. Optimum su içeriği kompost metoduna ve katı atıkların çeşidine bağlıdır.

2.1.4.2. pH Değeri

Evsel katı atıkların pH değeri genellikle nötrdür. Fakat , bol miktarda kül ve çürük içermesi durumunda bazik olmaktadır. Tepkime başlangıçta nötr olan tepkime ,

tepkimenin ilerlemesiyle asidik olmakta ve sonra tekrar yükselerek nötr veya bazik hale gelmektedir.

2.1.4.3. Hava Miktarı

Kompostlaştırmanın aerobik ortamda oluşması için yeteri kadar O_2 verilmelidir. Tepkime ortamına yeteri kadar oksijen dolasıyla hava verilmezse , işlem anaeroba dönüşür. Bu durumda ortamdaki sıcaklık yeteri kadar artmayacağından katı atıklar potojen mikroplarından ayırlamaz ve çevreye rahatsız edici kokular çıkar.

2.1.4.4 Sıcaklık

Ortamın ısısını arttıran mikroorganizmalar çeşitli sıcaklık derecelerinde faaliyet gösterirler ve genel olarak iki gruba ayrılırlar. Bunlar mezofil ve termofil bakterilerdir. Mezofil bakterilerin faaliyet bölgesi $40 - 50 ^\circ C$ termofil bakterilerin ise $55 - 65 ^\circ C$ arasındadır. $65 ^\circ C$ ' den sonra , kimyasal işlemlerin başladığı kabul edilir

2.2 DEPOLAMA

Düzenli depolamada esas olan evsel ve endüstriyel katı atıkların koku çıkarılmasını , estetiği bozucu görümlerini , çeşitli haşerelerin çoğalmasını ve bunlar yardımıyla hastalık mikroplarının çevreye dağılarak çevre sağlığını tehdit etmesini en basit ve en ucuz bir şekilde önlemektir.

Çöp depolamaları genellikle düzenli olanları ikiye ayrılmaktadır.

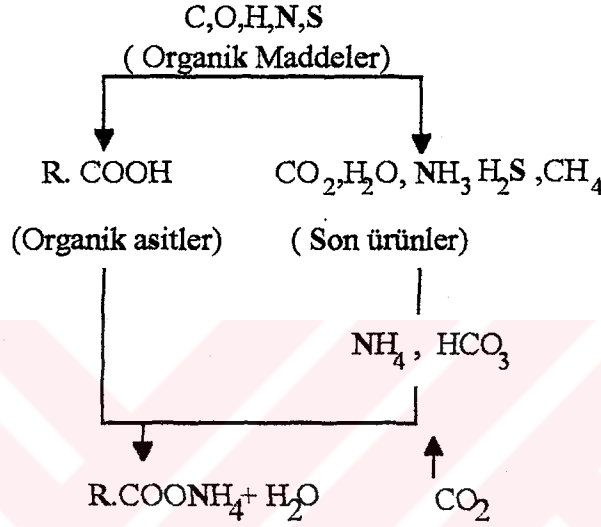
a)- Ayrıştırılmalı depolama , ki burada gevşek yığılmakta ayrışma devam etmektedir.

b)- Sıkıştırılmalı depolama , ki burada depo yerinde çöpler hemen sıkıştırılmakta , yığılma gözeneklerin kalmaması sağlanmaktadır. Bu ikinci tip deponilerde ayrışma anaerobik olduğu için metan gibi yanıcı gazlar oluşmaktadır. Bunun sonucunda patlamalar ve zehirlenmeler meydana gelmektedir.

Yaklaşık olarak 1 kg çöpten $0.2 Nm^3 CH_4$ oluşmaktadır. Eğer bu oluşan CH_4 gazları kapalı gözeneklerde toplanırsa ve konsantrasyonu % 5 -15 'i bulursa kolayca

patlamalar olabilmektedir. Bunu önlemek içinde bilinçli olarak depo yerlerine döşenecek drenaj ve diğer toplayıcı iletici tabakalarla atmosfere vermek yerinde olur. Bu depo yeri gazının toplanıp enerji olarak yararlanılması olasıdır ve bu konuda çalışmalar gelişmiş ülkelerde yürütülmektedir[3].

Çöpün bileşiminde bulunan organik madde miktarı mevsimlere ve sosyo-ekonomik yapıya , moda alışkanlıklarına göre değişmektedir. Depo yerlerinde organik maddeler ise anaerobik koşullarda şu tepkimelere uğramaktadır.



Organik karbonun parametre olarak kullanılması ile ayrışma modelinin metabolizma proseslerinin saptanmasında kullanılır. Gazlaşma tepkimesinde;

$$\frac{dC_{og}}{(C_{oe} - C_{og})} = k \cdot dt \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilir[2].

C_{og} = t' zamanda gazlaşan (C) karbon miktarı, Nm³/kg

t' = Tepkime zamanı

k = Tekime katsayısı

C_{oe} = Gazlaşabilir toplam (C) karbon miktarı , Nm³/kg

Kuramsal olarak 1kg organik karbonun normal koşullar altında kalıntısız gazlaşmasında 1,862 Nm³ gaz hacmi oluşur [2]. Bu da genellikle CH₄ + CO₂ karışımıdır [2].

$$C_{oe} = 1,862 \cdot C_o \cdot (0,014 \cdot t + 0,28) \quad (2.2.)$$

C_o = Toplam (C) karbon miktarı , Nm³/ kg

$t = ^\circ C$

Çevre sıcaklığı 10⁰ C olması halinde anaerobik koşullarda elde edilebilir özgül gaz miktarı:

$$C_{oe} = 1,862 \cdot 0,2 \cdot (0,014 \cdot 10 + 0,28)$$

$$C_{oe} = 0,157 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$C_{oe} = 157 \text{ Nm}^3/\text{ton}$$

olur ki ; pratikte bu değer 60 - 180 N m³ / ton arasında değişmektedir. Uzun yılların tecrübelerine göre, depo yerinde metan oluşumu depo yerinin bitiminden 2 yıl sonra başlar ve 20 yıla kadar devam eder. Bu süre içinde oluşan gaz ortalama olarak 120 Nm³ / ton çöptür [2] .

$$G_t = C_{oe} (1 - e^{-0,007 \cdot t'}) \quad (2.3)$$

$G_t = t'$ zamanda oluşan spesifik gaz miktarı (Nm³ / ton)

$t' =$ zaman (yıl)

Depo yerlerinde yapılan gaz analizlerinde % 15- 85 oranında metan gazı olduğu saptanmıştır. CO₂ ' de % 15 -85 arasında CO, H₂ , H₂ S , merkeptant , su buharı , toz v.s. ise azmiktarda bulunur [2] .

Yılda 250 kg/kişi çöp oluştuğunu kabul edersek, İstanbul nüfusunu 10,000,000 kişi olarak alarak, depo alanında meydana gelebilecek metan miktarı ;

$$10,000,000 \times 250 \times 120/1,000 = 300 \cdot 10^6 \text{ Nm}^3/\text{yıl}$$

$$300 \cdot 10^6 / 365 = 821,917.80 \text{ Nm}^3/\text{gün}$$

Verimin %70 ve metan gazının % 50 olması halinde yıllık ısıl eşdeğer ;

$$0.50 \cdot 0.70 \cdot 300 \cdot 10^6 \cdot 34,777(\text{kJ} / \text{Nm}^3) = 3,65 \cdot 10^{12} \text{ kJ} / \text{yıl}$$

bu değerde yaklaşık olarak 87,000 ton petrol demektir.

Depo gazlarından şöyle yararlanabiliriz :

- 1)- Metanol elde ederek
- 2)- Arıtılmış metan gazının çelik gaz tüplerine doldurulmasıyla
- 3)- İkaz edici bir koku ilave edildikten sonra normal kullanılan gaz şebekesi ile karıştırmak
- 4)- Su buharı eldesi için yakmak
- 5)- Elektrik üretmek için generatöre bağlı bir gaz motorunun çalıştırılması

2.3 PİROLİZ YÖNTEMİ

Katı atıkların içerdiği enerji potansiyelinden yararlanmak ve yok edilmesi çok sorunlu olan lastik ve benzeri gibi artık gruplarının, zararsız hale getirilmesi için katı atıklar konusunda geliştirilmekte olan yöntemlerden biride pirolizdir.

Eski kauçuk kökenli her türlü lastiklerin çöp, yani katı atık haline geldiğinde yok edilmesi için 4 işlem vardır. 1. Depolama , 2.Yakma , 3. Lastik granutları haline dönüştürme ve hammadde olarak kullanma , 4. Piroliz etme (kimyasal hammadde hazırlamak ve enerji elde etmek.) Bunlardan ilk üçünün uzun yapılabirlik ve ekonomiklik çalışmalarından sonra uygulama için geçersiz olduğu yargısına varılmıştır. Yalnız bu dört işlemden birine karar verirken, her ülke kendi koşullarını göz önünde bulundurmalıdır. Aslında lastiklerin 8,000 kcal / kg (33,560 kJ / kg) gibi çok yüksek ısı değerine sahip olması, yakma tesisleri için bir dezavantaj olmaktadır. Hava kirliliği sorunu yaratmakta , atık gazların 220 °C ' ye soğutulmasına , uçucu tozların tutulması içinde genellikle çok pahalı filtre tesislerine gereksinim duyulmaktadır.

Piroliz işlemi ise, ısı değeri yüksek olan kullanım önemini kaybetmiş eski lastiklerin kauçuğundan, değerli enerji elde etmek ve enerji sorununa çözüm aramaya yaklaşım sağlamayı amaçlamaktadır. Bu tesislerde, tepkime kısmına verilen metaryel 600 °C sıcaklıkta oksijensiz ortamda ısıtılmaktadır. Kapalı bir reaktör borusu içinde metaryel yanma odasına doğru yürümektedir.Bu yanma odası, başlangıçta arzu edilen başlama sıcaklığı oluşuncaya kadar dışarıdan gaz veya fuel oil ile ısıtılabilir. Reaktör borusunda oluşan gazlar aynı yönlü bir akım ile emilir , gaz yıkayıcılardan geçirilir ve kondense edilir. Devamlı olarak kondense edilen piroliz yağları pompayla temizlenir ve depolanır. Piroliz yağları yakmaya çok uygundur. Isı değeri , 9,800 kcal / kg (41,062 kJ / kg) , çok yüksek olduğundan fuel oil gibidir. Gaz yağlarını, bir dizel generatörün çalıştırılmasında ve kimya sanayinde değerli ürün hazırlanmasında hammadde olarak kullanılması olasıdır. Ayrıca geriye tekrar devreye sokulabilir , kazanılabilir . Kurum ve aynı zamanda oksitlenmemiş şekilde tamamen ayrı metaller seçilmektedir.

Piroliz tekniğinin sağladığı yararları şöyle sıralayabiliriz.

1)- Katı atığın miktarı ve bileşiminin değişimine karşı hassas olmadığından, oksijenli yakma yöntemi için az uygun olan çöpler, çöp + çöp arıtma karışımı hiç bir güçlükle karşılaşmadan işlem görebilir.

2)- Temizlenmiş piroliz gazı içindeki zararlı maddeler çok azdır. SO_2 , NO_x ve hidrojenli halojenler basit ve etkili bir şekilde temizlenmekte , temiz gazda yağ yıka-
madan sonra bunlara rastlamak olası değildir.

3)- Elde edilen enerji ise yağ veya gaz şeklinde depolanır bir durumdadır.

4)- Açığa çıkan atık ısının reaktörü ısıtmada , gazlarında motor veya türbinleri çalıştırmada kullanılması, pirolizi yapılan metaryelin enerjisinden maksimum yarar-
lanmayı sağlayacaktır.

5)- Metaller pirolizden sonra oksitlenmemiş olarak kolay ayrılabilir bir durum-
da bulunmaktadır. Ayrıca katı piroliz atıkları elemeyen sonra inert ve ısı değeri yüksek fraksiyonlar diye de ayrılabilir.

2.4 YOK ETME METODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Kompostlaştırma , depolama ve yakma gibi çöp yok etme metodları Tablo 2.2 ' de zemine , atmosfere , sulara , araziye olan etkileri , ekolojik ve teknik bakımdan tesirleri özetlenmiştir.

Tablo 2.2 Çöp Yok Etme Metodlarının Karşılaştırılması

	Kompostlaştırma	Depolama	Yakma
Zemine olan etkisi	Tesisin direk temasta bulunduğu zemini etkiler. Düzenli bir işletmeyle ortadan kaldırılır.	Zemin özelliklerini olumsuz yönde etkiler.	Tesisin bulunduğu alan istisna kabul edilirse, zemin üzerine önemli bir etkisi yoktur.
Atmosfere etkisi	Aerobik reaksiyon neticesinde çıkan gaz rahatsız edici değildir. Atmosfere rahatsız edici kokular çıkabilir.	Anaerobik ayrışmadan dolayı metan gazı çıkar. Gerekli tedbirler alınmazsa (patlamalar) çevreye tehlikeli olabilir.	Atmosfere gaz çıkışı vardır. Gerekli donanımlar yapılmamışsa zehirli gazlar atmosfere verilir.
Sulara etkisi	Açık kompostlaştırma işleminde kirlenmiş sular çevreye verilebilir.	Sızıntı sularının önlenmesi gerekir.	Gazlarda bulunan zehirli maddelerin suya karışması durumunda tehlikelidir.
Araziye olan etkisi	Teknoloji geliştikçe tarıma daha uygun kompost elde edilmektedir.	Depolamanın yapılacağı alan fazla geniş tutulmamalıdır.	Şehir yakınlarına kurulduklarından tarım arazilerine etkisi yoktur.
Ekolojik Bakımdan etkisi	Ağır metaller (Zn, Cu, Cr vs.) içerdiklerinden kirlenme ve bitkilerin zarar görmesine yol açar.	Çok yavaş ayrıştıkları için uzun süre doğada kalmaktadırlar.	Çıkan gaz gerekli işlemlere tabii tutulduktan sonra atmosfere verilmelidir.
Teknik Bakımdan etkisi	Çevre sağlığı açısından katı atıkların işlenmesi veya katı ve sıvı atıkların beraber işlenmesi bakımından kusursuzdur.	Tepkime yer altında yıllarca devam ettiğinden çevre sağlığı için zararlıdır.	Çevre sağlığı bakımından hiç bir mahsuru yoktur. (Eğer gerekli sistemler kullanılırsa)

Tablo 2.3 ' de ise özel endüstri dallarındaki çöplerin kompost olabilirlik , yanabilirlik ve depolanabilirlik özellikleri sıralanmıştır.

Tablo 2.3 Özel Endüstri Dallarındaki Çöpün Özellikleri

Endüstri Grubu	Özelik %		
	Kompost Olabilir	Yanabilir	Depolanabilir
Gıda San.	1	99	-
Bakkal	90	10	-
Meşrubat San.	-	50	50
Marangoz	1	99	-
Mobilya	1	99	-
Matbaa	10	90	-
Gazete	70	30	-
Bina San.	-	-	100
Boya	-	5	95
Metal İşleme	-	-	100
Oto Atölye	-	5	95
Makine San.	-	5	95
Kaynak, Lehim	-	5	95
Elektrik San.	-	5	95
Ev Eşyası	40	60	-
Tekstil	30	70	-
Emaye Boya	10	90	-
Büro Kırtasiye Kitapçı	30	70	-
Deri, Ayakkabı	-	-	-
İlaç	5	95	-
Berber	20	80	-
Çamaşırhane	30	70	-
Lokanta	100	-	-
Kimya San.	5	95	-
Sır , Seramik	-	40	60

3. KATI ATIKLARIN YAKILMASI

3.1 YANMA VE YANMADA OLUŞAN OLAYLAR

Çöpün yakılması kimyasal bakımdan yanabilir organik maddelerin, hava içerisindeki oksijen yardımıyla okside olduğu bir kimyasal tepkimedir. Tepkime ürünleri uçucu küller , katı haldeki curuf , taneli maddeler içeren gazlar ve ısı enerjisidir.

Yakma olayının daha iyi anlaşılabilmesi için modeller geliştirilmiş olup , bunların çöp yakmadaki kullanımını ise sınırlıdır. Bunun nedeni homojen , fosil yakıtlarında kurutma , gaz alma , gazlaştırma ve asıl yanmanın meydana geldiği safhalarda , olaylar hem zaman açısından hemde sıcaklık bölgesi bakımından kesişirler.

3.2 YANMA ÖZELİKLERİ

Şehir çöplerinin (ev çöpü , sokak çöpü ve ev çöpü benzeri sanayi çöpü vs.) yanma özellikleri , kimyasal ve fiziksel özellikler tarafından belirlenir. Şehir çöplerinin büyük kısmı mineral ve organik maddelerden oluşan heterogen karışımlar olduğundan , en önemli yanma özellikleri, homojen yakma maddelerinde olduğu gibi eşitlikler şeklinde gösterilemez . Isıl değeri , kuramsal hava ihtiyacı ve diğer tanım değerlerini hesapla önceden kimyasal analiz verilerine göre hesaplamak , şehir çöplerinin içeriğinin sürekli sapmasından dolayı daha da zorlaşmaktadır. Gerekli çöp yakma tesisini dizayn ederken, bu çok geniş yakma özelliklerini dikkate almak gerekir. Tesisin kusursuz çalışabilmesi için kimyasal ve fiziksel özelliklerin sınırlandırılması gerekir.

3.2.1 Fiziksel Özellikler

Fiziksel özellikler, şehir çöplerinde en önemli özelliklerdir. Yığınların tane büyüklüğü ve dağılımı , özgül ağırlığı ve akış direnci.

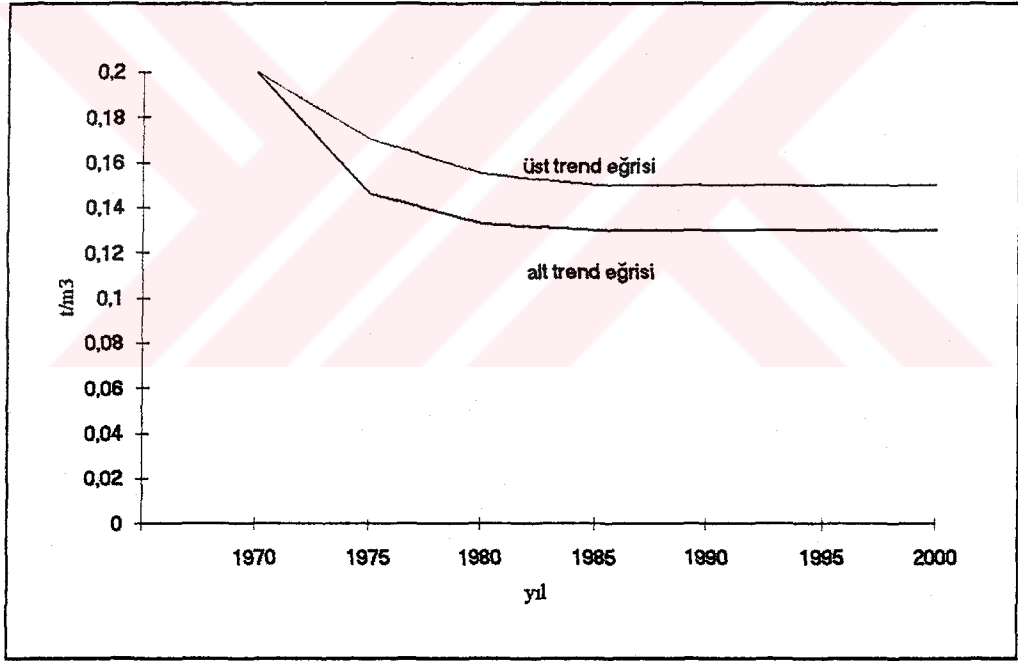
3.2.1.1 Tane Büyüklüğü ve Dağılımı

İzin verilen tane büyüklüğü , seçilmiş yakma tesisine ve büyük tanelerin

yapısına bağlıdır. Özel çöplerde örneğin, büyük çöplerde belirlenen değerlerin üzerinde ise mekanik ufaltmayla tanelerin ufaltılması sağlanır. Yalnız mekanik olarak ufaltılan plastik maddeleri (Folya balyaları gibi) 10 cm ' lik büyüklükte dahi zorluklar çıkarırken tahta , eski lastikvs . kural olarak 25 cm ' lik çapa kadar izin verilmektedir.

3.2.1.2. Özgül Ağırlık

Ev çöplerinin özgül ağırlığı, yanma özelliklerinin yalnızca yaklaşık sonuçlarını vermektedir. Özgül ağırlık hakkındaki tam bilgiler, çöp yakma tesisinin bölgelerinin (kömürlük , depo) belirlenmesi için önemlidir. Şehir çöplerinin özgül ağırlıkları yıl içinde birçok saptamalara uğramaktadır. Şekilde ev çöplerinin yıllara göre değişimi görülmektedir.



Şekil 3.1 Ev Çöplerinin Yıllara Göre Tahmini Gelişimi [4].

3.2.1.3 Çöp Yığınlarının Hava Direnci

Çöp yığınlarının hava direnci , özellikle ızgara ateşlemeli sistemler açısından

önemlidir.Çöp yığınının hava direnci, özgül ağırlığına ve yaşına bağlıdır. Uygulamada hava direnci, özgül ağırlıkla orantılı olarak azalır. 0.25 t / m³ ' lik ortalama değerinde 200 mmSS / her 100 mm tabaka yüksekliğine ulaşır. Bunun şartı da toplam yığma yüksekliği en az 200 mm olmalı ve çöpler gevşek olarak yerleştirilmelidir. Sıkıştırılmış çöp veya yoğun nemlenmiş çöp veya aşırı meyve ve sebze çöp konsantrasyonlarında bu değerler pozitif veya negatif yönde sapma gösterirler.

3.2.2 Kimyasal Özellikler

Kimyasal özellikler ; Isıl değer , yanabilir madde içeriği , su , kül ve ayrıca zararlı madde içeriği özellikle klor , kükürt , flor .

3.2.2.1. Alt Isıl Değer

Isıl değer yalnız kimyasal bağlanmış ısı enerjisi için belirleyici tanım büyüklüğü değil , aynı zamanda hava ve duman gazı miktarı ve ayrıca artık ısı durumu için belirleyicidir.

Isıl değer aşağıdaki denklem yardımıyla hesap edilebilir [4].

$$H_u = 81. c + 25. s + 286 (h - o / 8) - 6. (w + o. 9 / 8) \quad (3.1)$$

c : Karbon miktarı

s : Kükürt miktarı

h : Hidrojen miktarı

o : Oksijen miktarı

w : Su miktarı

analizde değerler ağırlık yüzdesi olarak kullanılmalıdır.

Isıl değer in yaklaşım denkleminin kullanımındaki zorluk analiz değerlerinin belirlenmesidir. Karışımın heterogenliğinden ve karışımın zamansal sapmalarından dolayı, analiz değerlerinin kavranması pratikte imkansızdır.

Daha güvenilir olan, deneysel olarak ısı değer in bulunmasıdır. Fakat burarada da , homogen yakıtlardaki işlemlerden ayrı olarak laboratuvar metodları işe yaramamaktadır. Pratikte ortalama ısı değer in hesaplanması yakma tesislerinin ısıl denkleminde sağlanır. Burada, sabit işletimde yeterli güvenilebilir ortalama değerlerin

belirlenmesinde araştırılan kalite için 20 ton çöp yakılmalıdır [4].

Çöp yakma tesislerinin sarfiyat değerleri şu şekildedir[4]. (1974)

Şehir çöpleri 5,016 - 10,032 (kJ / kg)

Kırsal bölgelerdeki ev çöpleri 4,180 - 7,524 (kJ / kg)

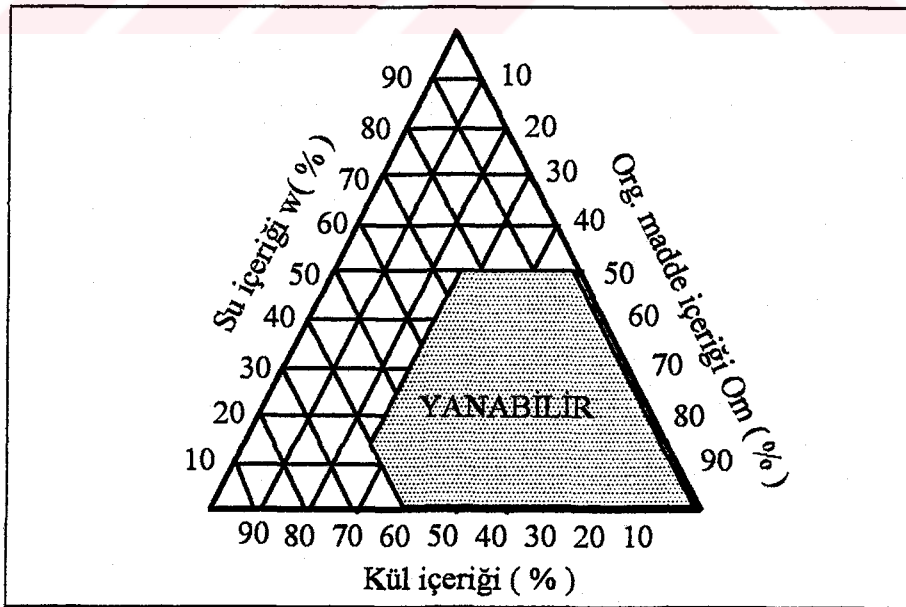
Büyük çöpler10,450 - 16,720 (kJ / kg)

Ev çöpu benzerleri (Sanayi çöpu) 7,524 - 12,540 (kJ / kg)

800 ° C yanma sıcaklığında yüksek moleküllü bileşikler düşük moleküllü bileşiklere indirgenebilir. Katı yakıtlar ilave yakıt gerektirmeden kendi ısısı ile bu dereceye çıkabilmelidir. Aksi taktirde , tam yanmanın sağlanması için dışarıdan ek ısı vermek gerekecektir. Katı artıkların kalorifik değerinin 5,016 kJ/ kg (1,200 kcal / kg) den küçük olması halinde , ilave yakıt verilmesi gerektiği araştırmalar neticesi elde edilmiştir .Burada yanma hücresinde maksimum sıcaklık 1,100 ° C ' yi geçmemelidir.

3.2.2.2 Yanabilir Madde , Su ve Kül İçeriği

Yakma özelliklerinin belirlenmesi için ısı değeri yanında yanabilir madde,su ve kül içeriği miktarıda önem taşımaktadır. Söz konusu bu özellikler birbirleri ile ilişkilidir.Yapılan araştırmalarda İstanbul için bulunan değerlerin Tanner üçgenindeki değerleri görülmektedir.



Şekil 3.2 Tanner Üçgeni

800 °C ' de kendi kendine yanmaya erişebilmek için toplam katı artığın % 25-30 ' luk kısmı külsüz ve kuru yanıcı kısım ,% 20 -25 'lik kısmı kül ve su içeriği de % 45 50 den fazla olmamalıdır. Kuru yanıcı kısmı % 25 olan katı artığın kül miktarı % 60 ' ı su içeriği de % 15 geçmemelidir. Yanabilir maddelere ait ısıl değer yaklaşık 18,810 kJ / kg (4,500 kcal / kg) dir.

Evsel katı atıkların su içeriği , yanan ve yanmayan kısım yüzdeleri bilinirse bu maddenin yanıp yanmayacağı yaklaşık olarak hesap edilebilir. Aşağıdaki tabloda katı atıkların yanabilirliğinin tahmini için yaklaşık değerler verilmiştir.

Tablo 3.1 Katı Atıkların Yanabilirliğinin Tahmini İçin Yaklaşık Değerler [1].

Yanma odası sıcaklığı °C	800	900	1,000
Kuru ve külsüz katı artığın ısıl değeri (kJ / kg)	18,810	18,810	18,810
Suyu buharlaştırmak ve kül ısıtmak için gerekli olan ısı (kJ / kg)	7,294	5,831	4,326
Havayı ısıtma için ek ısı (kJ) (300 °C)	3,511	3,511	3,511
Isı miktarı (kJ / kg)	10,805	9,342	7,837
Kül Ö. ısısı 0.878 kJ / kg °C	710.6	794.2	877.8
Suyun buharlaştırılması , 100 °C kadar (kJ / kg)	334.4	334.4	334.4
Buharlaştırma gizli ısısı (kJ / kg)	2,257.2	2,257.2	2,257.2
Su kısmı (kJ / kg)	4,096	4,368	4,619

Örneğin ,yanıcı kısmın % 30 , Külün % 25 ve su içeriğinin % 45 olduğu bir çöp bileşiminde , yanma hücresi sıcaklığı 800 °C ise

$$\text{Açığa çıkan enerji} : 1,0805 \times 0.30 - (710.6 \times 0.25 + 4096 \times 0.45) = 1,220.65 \text{ kJ/kg}$$

3.2.2.3 Zararlı Madde İçeriği

Zararlı madde içeriğinin bilinmesi ,yanma özellikler ziyade , zararlı madde emisyonunun belirlenmesi için önemlidir. Çöplerin çok farklı madde içermesinden

dolayı temsili çöp numuneleri elde edilememektedir. Bu yüzden , güvenilir analiz değerleri kimyasal analiz yoluyla belirlenememektedir. Kurulmuş yakma tesislerindeki büyük miktardaki duman gazı analizleri sayesinde, yeniden hesaplama yoluyla , aşağıdaki tablodan şehir çöplerinin zararlı madde konsantrasyonu bulunabilir.

Tablo 3.2 Zararlı Madde Konsantrasyonu

Madde	Ağırlık Yüzdesi
Kükürt	0.2 - 0.7
Klor	0.2 - 0.4
Flor	0.02 - 0.06

Atık maddelerdeki kükürt (S), kükürtdioksit (SO₂) ve kükürtrioksit (SO₃) formunda iken önemli bir problem oluşturur. Kükürt oksitleri, zehirli ve endüstriyel çöp yakma fırınlarındaki gazların önemli bir miktarını oluşturduğu düşünüldüğünde , kükürt oksitleri yok edecek ve sülfatları filtre veya elektrostatik filtre ile uzaklaştıracak bir çözüm yolu ile yıkanması gerekir. Genellikle endüstriyel katı atıklar çok az sülfür içerdiklerinden bu gerçekte önemli bir problem teşekkül etmez. Fakat , birçok sıvı endüstriyel atıklar kükürt komponenti içerirler.

Atık maddelerin yapısında en çok karşılaşılan biride halojen maddelerdir. Halojenler ; Flor , Klor , Brom ve İyod ' dur. Son iki madde endüstriyel maddelerde çok nadiren görülür .

Aerosol , çeşitli plastik ve de antifiriz bileşimi gibi flor içeren bileşikler yakma sisteminde belirgin bir şekilde yok edilme problemiyle karşı karşıyadır. Aynı durum klorlu bileşiklerde de söz konusudur.

Flor ve klor bileşikleri yandığında , duman gazları, yanma sonundaki halojenleri hidrolize etmedikçe, flor ve klor molekülleri içermeye devam ederler. Bu durum, çöp yakma sistemlerinde göz önünde bulundurulmalıdır. Flor' u hidroflorikasite veya klor'u hidroklorikasite hidrolize etmek için yeterli miktarda hidrojen bulunması gerekir. Yeterli miktardaki klor gazından hidroklorik asit üretmek için klor hidrojen oranı 1/4 ' dür. Yeterli miktarda hidrojen çöp yakma fırını ilk beslemesinde verilmezse, bu durumda , yakma reaksiyonunda serbest klor gazı oluşur. Bu serbest kloru

hidrolize etmenin bir yolu 1000 °C ' den fazla sıcaklıkta sisteme yanmamış yakıt ilave edilir. Bu tepkime şöyle gerçekleşir



Bu, havada yanan triklor etilenin normal tepkimesidir. Fazla hidrokarbon ilavesinde bu tepkime :



olur. Metan yerine buhar kullanılırsa



Karbon , hidrojen , kükürt ve halojen tepkimelerindeki pratik amaç , tüm bu tepkimelerin bir yanma veya çöp yakma sisteminde bulunmasıdır. Fosfor ve diğer ametallerin oksidasyon tepkimeleri, endüstriyel veya şehir katı atık yakma sistemlerinde nadiren önem taşır.

Şehir çöplerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri veya analiz değerlerinin yanında , yanma özelliklerinin belirlenmesi için başka büyüklükler de önem taşımaktadır. Bunların başında; düşük erime noktalı , metal katkı içeriği ve ısı değeri zengin maddeler (plastik , eski lastik vs.) sayılabilir. Diğer önemli bir konu, hurda içeriğidir. Özellikle bu, maksimum tane büyüklüğünün ve kül içeriklerinin belirlenmesinde önemlidir. Hurda içeriği şehir çöplerinde genelde ağırlık olarak % 2.5 - % 5.0 arasındadır. Bisiklet cantı , motor parçaları , buzdolabı ... gibi büyük parçalar şehir çöplerinden de çıktıklarından dolayı , mekanik arızalara yol açmaması için ayıklanmalıdır. % 1 ' in üzerinde ağırlık yüzdesine sahip çinko , kalay ve kurşun içeren konsantrasyonlar , ızgaralı tesislerde zorluklara yol açarlar. Bunun sebebi , metallerin erimesi sonucu ızgara ve havalandırma sistemleri tıkanmasıdır. Aynı şekilde daha yüksek konsantrasyondaki kalaylı konserve kutularında aynı problem olmaktadır. Yüksek konsantrasyonlu , ısı değeri zengin çöpler, ızgarada bölgesel oksijen noksanlığına ve böylece kurumlanmaya yol açmaktadır. Plastik ve eski lastikler bu yüzden mekanik olarak hazırlanmalı ve diğer maddelerle karıştırılmamalıdır.

3.3 HAVA VE DUMAN GAZI MİKTARLARI

3.3.1 Hava Miktarı

Şehir çöplerinin yakılması için gerekli hava miktarı , kimyasal bileşimin bilinmesiyle yanma denklemlerinden hesaplanır[9].

a) Hacimsel $O_{min)1}$ ve $L_{min)1}$ ihtiyacı ;

$$O_{min)1} = 1/100 [1.867 c + 0.7 s + 5.6 (h - o/8)] \quad Nm^3 / kg Y \quad (3.2)$$

$$L_{min)1} = O_{min)1} / 0.21 \quad Nm^3 / kg Y \quad (3.3)$$

b) Kütleli $O_{min)2}$ ve $L_{min)2}$ ihtiyacı ;

$$O_{min)2} = 1/100 [2.67 c + s + 8 (h - o/8)] \quad kg/kgY \quad (3.4)$$

$$L_{min)2} = O_{min)2} / 0.23 \quad kg/kgY \quad (3.5)$$

Pratikte hesaplama yoluyla minimumun hava ihtiyacı , yeterli düzeyde güvenilir analiz değerlerinin bilinmemesi yüzünden bulunamamaktadır. Ayrıca minimumun hava ihtiyacının sadece bir kuramsal büyüklük olma durumu vardır. Çünkü pratik işletimde, çöp yakma tesislerindeki tam yanma işlemi için gerekli olan hava fazlası miktarı , homogen ve fosil yakıt yakan tesislerdekinden daha çoktur.

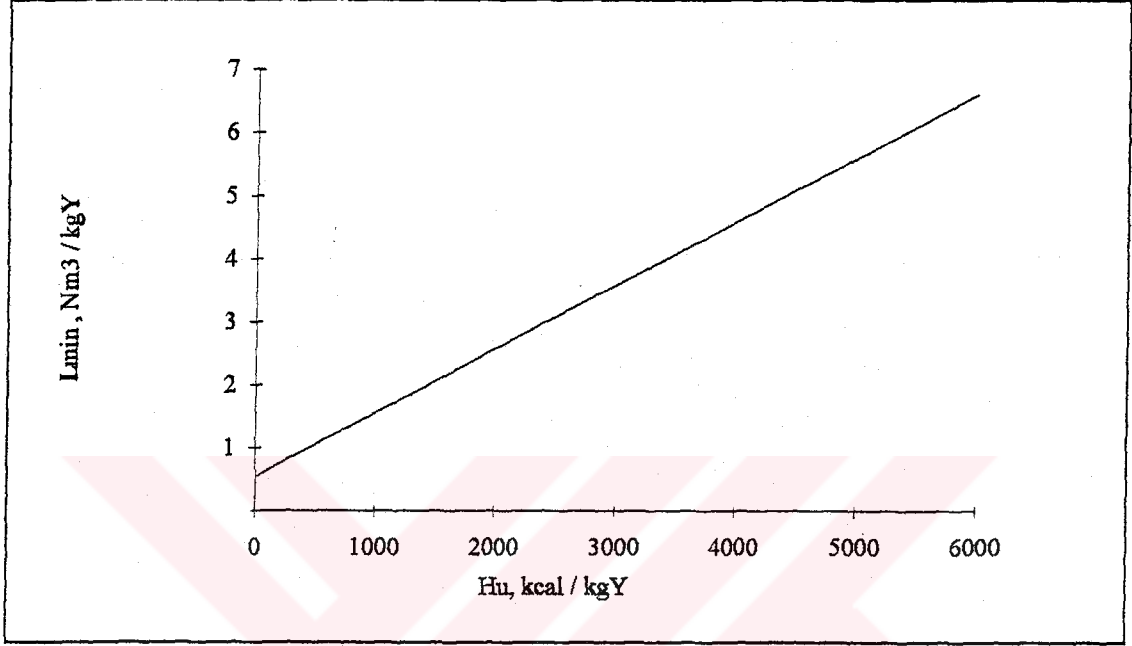
Kuramsal hava ihtiyacı , ısı değerlerine bağımlı olmasına rağmen çöp yakma tesisinin yapımı için yeterlidir. Alt ısı değere bağlı olarak minimumun hava miktarı şu ampirik formül yardımıyla hesaplanabilir [4].

$$L_{min)1} = 1.01 [(H_u + 550) / 1,000] \quad Nm^3 / kg Y \quad (3.6)$$

Gerçek hava ihtiyacı çöp yakmada en az % 50 , en fazla % 150 stokiometrik yakmadaki kuramsal hava ihtiyacının üstünde olmalıdır. Kullanılacak hava şartları aşağıdaki özelliklere göre belirlenmelidir.

- Yakma sistemi
- Çöpün yanma özeliği
- Homogenlik
- Hava dozajlama
- Ön ısıtma

Bu değerler, yanma odası yapımı ve hava dozajı için bazı şartlar gerektirir. Bunların olmaması, hava fazlalık katsayısını 1.8' den 2.0' a çıkarmaktadır. Dönme borusu ateşlemelerinde kural olarak, ızgara ateşlemelerinden daha yüksek hava fazlası gerekmektedir ki, bu değerler 2.0' dan 2.5' e kadar çıkmaktadır. Savurma tabakalı sistemlerde ise, hava fazlalık katsayısı 1.1 ile 1.2 arasında değişir [4].



Şekil 3.3 Çöpün Alt Isıl Değerine Bağlı Olarak Kuramsal Hava İhtiyacı

3.3.2 Duman Gazı Miktarı

Duman gazı miktarı, analiz verilenlerinden tam olarak hesaplanabilir. Fakat, bu tür hesaplamalar bahsedilen sebeplerden dolayı önemsizdir. Pratikte, ısıtma değeri ve hava fazlalık katsayısına bağlı olarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir [4].

$$V_R = V_{\min} + (\lambda - 1) L_{\min} \quad \text{Nm}^3 / \text{kg} \quad (3.7)$$

$$V_{\min} = 1.17 + 0.906 [(H_u + 550) / 1,000] \quad \text{Nm}^3 / \text{kg} \quad (3.8)$$

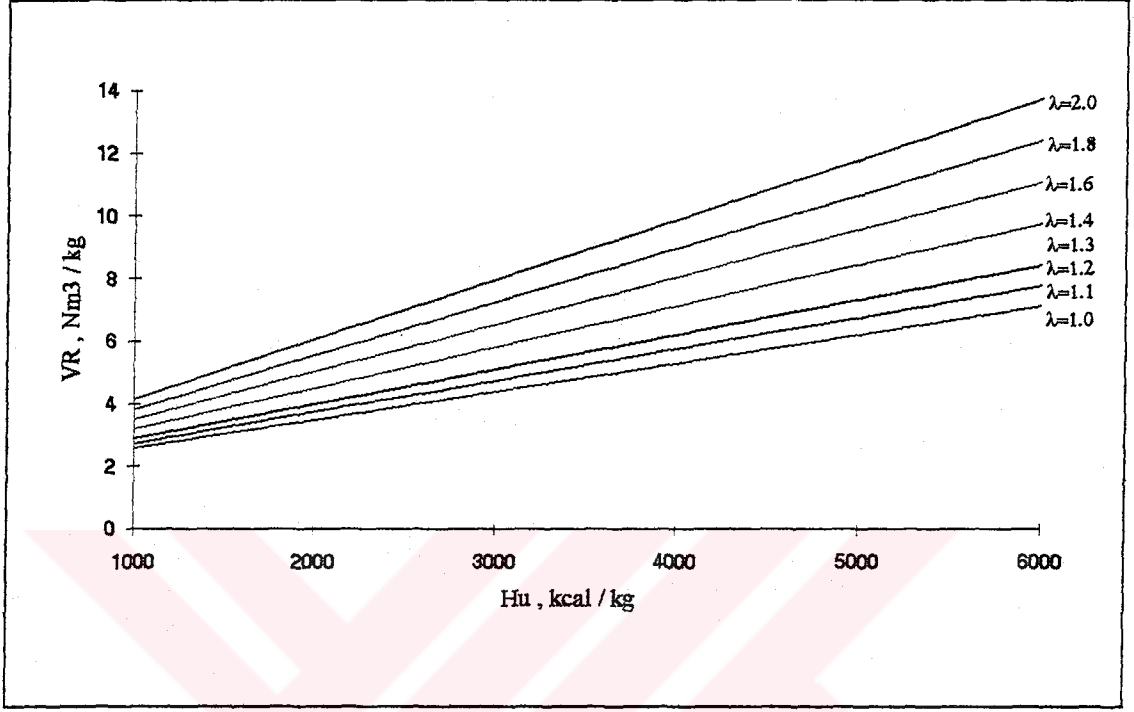
$$H_u = \text{Çöpün alt ısıl değeri (kcal / kg)}$$

Buna göre;

$$\text{Isıtma değeri için } 5,016 \text{ kJ / kg (1,200 kcal / kg) , } 4.2 \text{ ile } 5.3 \text{ Nm}^3 / \text{kg}$$

$$\text{Isıtma değeri " } 7,254 \text{ kJ / kg (1,800 kcal / kg) , } 4.7 \text{ ile } 6.3 \text{ Nm}^3 / \text{kg}$$

Isıtma değeri için $10,032 \text{ kJ / kg}$ ($2,400 \text{ kcal / kg}$) , 6.8 ile $8.5 \text{ Nm}^3 / \text{kg}$ arasında olduğu görülür.



Şekil 3.4 Çöpün Alt Isıl Değeri ve Hava Fazlalık Katsayısının Fonksiyonu Olarak Duman Gazı Değerleri .

3.4 YAKMA İLGİLİ KURAMSAL VE PRATİK BİLGİLER

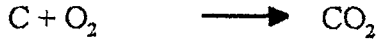
Bütün yanabilir organik atık maddeler için iki önemli komponent vardır. Bunlar , karbon ve hidrojen dir. Karbon ve hidrojen için yeterli miktardaki oksijen temin edilir, tepkime çok iyi karıştırılmış tepkime sisteminde olur ve de sistemin çalışma sıcaklığı tepkimenin ilerlemesi için yeterli yükseklikte olursa, yakma fırını içindeki organik maddelerin tamamen yanması sağlanır. Yakma üç faktöre bağlıdır.

- 1- Hava ile temaslı yakma fırınında atık maddelerin kalma süresi
- 2- Hava ile atık madde arasındaki karışım miktarı
- 3- Tepkime sırasındaki sıcaklık

Buradaki üç faktörü göz önüne alarak uygun bir yanma için , eşkenar üçgen

sistemi oluşturabiliriz. Kenarlardan biri (kalma süresi , karışım miktarı veya sıcaklıktan biri) daha kısa yapılır. Böylece aynı bölge veya aynı yanma verimliliğini oluşturmak için diğer iki kenar gerekli şekilde uzun tutulabilir. Örneğin , çöp yakma fırını içindeki karışım miktarı azaltılırsa , aynı yanma derecesini veya verimliliğini oluşturabilmek için kalma süresi ve sıcaklık eksenini arttırmak gerekecektir. Aynı sonuca ilaveten , eğer fırın sıcaklığı düşürülürse , bu durumda eşdeğer yakma verimini oluşturabilmek için türbülans ve kalma süresini arttırmak gerekecektir.

Bu faktörlerin herbiri çöp yakma fırının çalışması için önemlidir. Çok basit prensibler olmasına rağmen , çöp yakma fırını dizayn yapılırken gözden kaçırmamak gerekir. Kimyasal yanma oldukça basittir. Bu olay selüloz , sıvı ve gaz artıklardaki hidrojen ve karbonun oksitlenmesidir. Bu eşitlikler ;



bu tepkimeler birlikte düşünüldüğünde ;



olur.

Bu eşitlikler yalnızca bir çöp yakma fırını çalıştırmak için gerekli eşitlikler olsaydı , yakma sistemini dizayn etmek kolay olacaktı. Bununla birlikte sıvı katı ve gaz halinde bulunan endüstriyel atıklar her zaman bileşimlerinde karbon ve hidrojen bulundurmazabilirler.

Endüstriyel atıkların birçoğu yanabilen atıklar içerirler. Örneğin ; kükürt , halojen komponentleri , fosfor ve organik tuzlar gibi. Bu maddelerin birçoğu yanma tepkimesindeki hava fazlasına bağlı olarak oksitlenir. Karbon oksitlenerek karbon-dioksiti oluşturur. Bu sırada yakma prosesi yaklaşık 980 °C ' dir. Bu değr 980 °C 'nin altına düşerse , zehirli bir gaz olan karbonmonoksit oluşur. Aynı koşullarda , hidrojen oksitlenerek su buharını oluşturur. Havadaki azot , azot tespiti olarak bilinen azot oksitlerini oluşturur. Genellikle bu azot oksit (NO) şeklinde bulunur. Çünkü , normal gaz sıcaklığında diğer azot oksitleri denge halinde değildir. Yakıtta azot bulunuyorsa farklı bir şekilde azot oksitleri oluşur. Azot oksit oluşumu yanma reaksiyonunda kullanılan fazla hava miktarı azaltılarak indirilebilir.

Kimyasal yanma reaksiyonu önemli olmasına rağmen , atık maddeleri tamamen okside imkanı yoktur. Katı atıkları , sıvılara veya gazlara göre yakmak daha zordur.

Katı maddelerdeki moleküller birbirine çok yakın olduğundan, gerekli oksidasyon tepkimesini oluşturmak için, oksijen ile atık madde moleküllerini bir araya getirmek zordur.Örneğin, havadaki oksijen ile atık maddeki hidrokarbonun en iyi şekilde karışımını sağlamak için , fırın içersinde , türbülans oluşturarak yanmanın tam olarak gerçekleştirilmesi sağlanır. Sıvı yakıt yakan fırınlarda , yakıtı hava içersine püskürtten spray nozüller kullanılır.Püskürtme ile yapılan yakma işlemi daha verimlidir.Çöp yakma fırınlarında katı maddelerle, karışım havası çok büyük problemlere yol açmaktadır.Atık maddeler çok ince parçacıklara bölünebilirse daha iyi yanacaklardır. Bu yüzden ki , yanma prosesinde verimi arttırmak için katı atık maddeler parçacıklara bölünür. Bunun içinde fırının üst kısmında bir öğütücü veya kırıcı kullanılır.

İkinci olarak karıştırılan önemli bir nokta da , yanma verimini arttırmak için fazla hava miktarı kullanmaktır.Bu doğru değildir. Düşük hava yüzdesiyle çalışan bir sistem daha verimlidir.Çünkü sistem , maksimum çalışma sıcaklığı oluşturur ve yanma için gerekli hava basıncı minimumdur.Diğer bir deyişle , iyi bir şekilde karışmış düşük hava fazlalı bir sistem daha ucuz ve daha verimli olacaktır.

Çok düşük hava fazlalı sistemlerdeki problem , atık maddelerin tamamen yanmamasıdır.Fazla hava gazdaki tepkime sıcaklığını düşürecek , karbonmonoksit ve hidrokarbonların miktarını arttıracak bir eğilime sahiptir.

Modern yakma sistemlerinde , karbon ve hidrojenin tamamen oksitlenerek karbondioksit ve su buharı oluşturması için , fazla hava karşısında ilk anda yanabilen ürünlerin sıcaklığını arttırabilmek için ikinci bir odada yardımcı bir yakıttan yararlanılır. Bu olay iki kademeli yanma olarak bilinir.

Modern çöp yakma sistemlerinde iki kademeli prosesin avantajı , ilk kademe-deki istenilen fazla hava miktarını azaltmak , ikinci kademe-de ise çok iyi bir karışım yapmaktır.Örneğin , % 10 hava fazlasıyla çalışan çöp yakma fırının ilk kademesinde bir hidrokarbon , karbonmonoksit ve çok az oksijen içeren bir gaz oluşur.Bu gaz 980 °C ' nin üzerine çıkartılarak karbonmonoksitlerin karbondioksitlere, hidrokarbonların karbondioksitlere ve su buharına oksitlenmesi sağlanır.Tek kademeli yakma prosesinde bu sağlanamaz. Çünkü ilk yanma kademesinden sonra yeniden ısıtma olanağı yoktur. Diğer bir deyişle herşey tek adımda gerçekleşmelidir.

3.5 ÇÖP YAKMA FIRINI DIZAYNI

Yakararak katı atıkları yok etmek için bir kaç adım bulunmaktadır. Bunlar ;

- 1- Ayırma
- 2- Ön hazırlık
- 3- Besleme
- 4- İlk yakma
- 5- İkincil yakma
- 6- Duman gazının temizlenmesi

1-Ayırma : Ayırma işlemi , bütün yanmayan maddelerin yerçekimi , magnetik yolla veya başka bir yöntem kullanarak uzaklaştırılmasını içerir.Cam , şişe ve metaller yanmadıklarından çöp yakma fırını içine koymanın bir anlamı yoktur. Ayrıca cam ve şişeler curuf oluşturarak eridiklerinden, ısı kayıplarına da yol açmaktadırlar.Demir içeren metaller elektromagnetik bir alan yaratılarak kolayca ayrılabilir. Cam ve diğer ağır magnetik olmayan maddeler ise , ya yüksek basınçlı hava veya santrifüj ayırma sistemleri kullanarak, yerçekiminin etkisiyle ayrılabilirler.Endüstriyel bir atıktan bütün yanmayan maddeleri ayırmak imkansızdır. Kullanılan bu sistemlerin amacı , bir çöp yakma fırını için , artık içinde % 5 'den daha az yanmayan madde kalacak şekilde ayırma yapmasıdır.

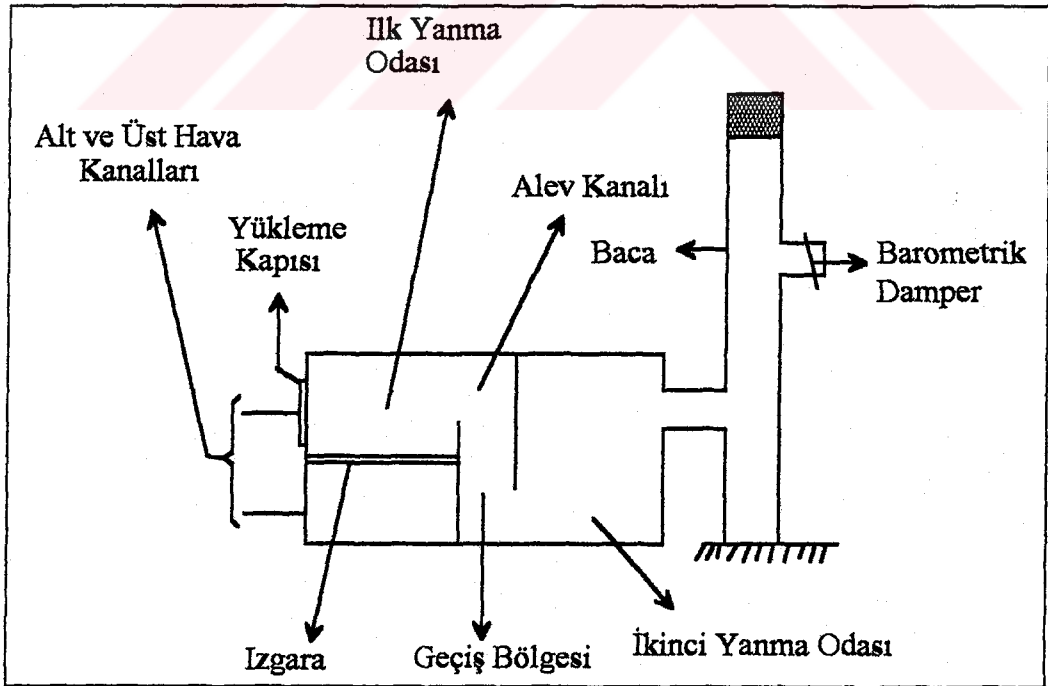
2- Ön Hazırlık : İkinci adım ise, mümkün olduğu kadar boyutları küçültmektir.Bu amaçla kullanılan kesme ekipmanları fiyatı ve enerji kullanımı açısından pahalıdır. Katı atıkları çöp yakma fırınında yakma işlemi için hazırlamak , enerji ve ilk maliyet açısından her zaman pratik değildir.

3- Besleme:Üçüncü adım çöp yakma fırının beslenmesidir. Birçok endüstriyel çöp yakma fırını küme beslemeye göre çalışır. Yani bir operatör tarafından besleme yapılır. Her çöp yakma fırını bir yakma uzmanı tarafından çalıştırılıyorsa , yakma sistemlerinde çok küçük problemler oluşurdu. Malesef bu pratik bir fikir değildir.Bu yüzden, yakma fırınları, bir operatörün yapabileceği şeyleri başaracak tarzda dizayn edilirler.Operatör sık sık kendi iş yükünü azaltacak imkanlar arar. İlk olarak mümkün olduğu kadar çöpü yakma fırınına yükler ve gerekli yanma sağlanıncaya kadar geçen zamanda çalışmasına izin verir. Yanmanın devamı için diğer bir yükleme yapılır. Bu yüklemeler ısı ve kül miktarını değiştirmeyip , aynı zamanda bacadaki duman gazı

oranında değiştirmektedir. Genellikle böyle çalışan çöp yakma fırınları her yüklemenden sonra havayı kirletecektir. Yakma fırınında besleme açıkları giderildiğinde düzgün olarak yanma başlar. Yakma fırını iki kademeli ise , ikinci kademe işlemin devamlılığını sağlar. Fırınlarda devamlı bir yüklemenin sağlanması için yükleme makinalarından yararlanılır.

4- İlk ve İkincil Yanma : İlk yanma odası , yanmanın ilk başladığı yerdir. Önce maddeler tutuşturulur ve yakılır. Bu sırada madde ile havanın karışımı sağlanmalıdır. Bu ızgara kullanarak veya madde ortadan yakılmak suretiyle gerçekleştirilir. Üst ve alt hava kanalları çöp ile havanın iyi bir karışım yapması için gereklidir. İlk yanma odasında kullanılan yanma havası %50 ila %150 arasında olmalıdır. İlk hücredeki duman gazı yardımcı bir yakıcı kullanılan ikinci bir odaya geçer. Sonuçta sistemden gelen duman gazı , içinde bulunan maddelere göre bir temizleme gerektirir. Atıklar yüksek derecede kül içeriyor ise , şüphesiz bu maddeler bacaya partikül madde taşıyacaktır.

Endüstriyel katı atıkların yakma uygulamaları selülozik tipteki atıkların yakılmasında içerir. Fakat , belediye (şehirselle) yakma sistemleri dışındaki yakma sistemleri ya katı yada sulu çamur halindeki çeşitli kimyasal atık içeren maddeleri tutmak zorundadır. Bu yüzden , yakma sistemi olarak seçilen cihazlar her türlü maddeleri karşılayabilmelidir.



Şekil 3.5 Sabit Izgaralı İki Bölmeli Hat Tipi Çöp Yakma Fırını

Şekil 3.5 ' de basit bir tip çöp yakma fırını görülmektedir. Bu fırınlarda saatte 900 kg kadar çöp yakılabilmektedir. Fırın elle veya otomatik olarak ızgara üzerine besleme kapısından beslenir. Izgara ateşleme odası olarak bilinen ilk yanma odasına yerleştirilmiştir. Burada, ateşleme yakıcısı atık maddeleri yakarak yanmanın başlamasını sağlar. Izgaranın üzerindeki atıkları yakmak için gerekli hava , üfleme çekişli bir fan veya emme çekişli bir fan kullanarak, havanın alt ve üst kanallara doğru çekilmesini ve itilmesi sağlanır. Alt hava kanalı ızgaranın altına , üst hava kanalı ise ızgaranın üst kısmına yerleştirilir. İlk karıştırma ve yanma burada başlar. Fakat , birçok yakma fırınında bunu sağlamak oldukça zordur. Oluşan duman gazı , bir perde duvar ve alev kanalından aşağıya doğru hareket ederek ikinci yanma odasına geçer. Bu yön değişikliği yanmış gazların , yanma havası ile karışımı sağlar. Yardımcı yakıcılar , yanma sıcaklığını devam ettirmek ve ikinci yanmayı sağlamak için alev kanalına yerleştirilmiştir. İkinci yanma odasına geçen gazların hızı 3 m/s altına düşürülür. Katı kül partikülleri ikinci yanma odasına bırakılır ve ilk yanma odasında oluşturulan gaz oksidasyonu tamamlanır. Gazlar bacaya geçer.

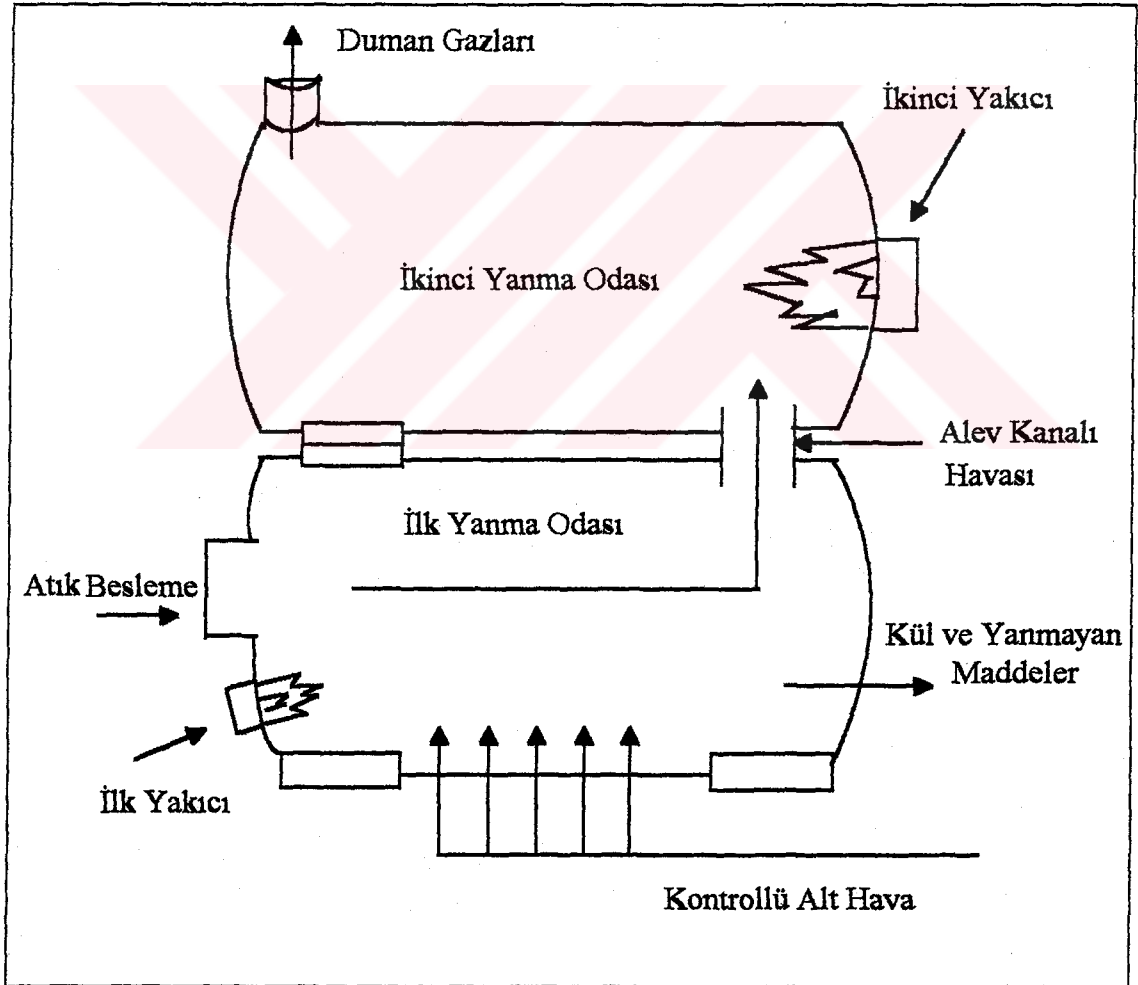
Sabit ızgaralı çöp yakma fırını ticari ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Briket , metal ve ateş tuğlasından imal edilir. Hava kanalları iyi bir şekilde yerleştirilirse ve aşırı yüklenmez ise çok iyi çalışır. En önemli dezavantajı, büyük yanmamış partiküllerin ızgara altına düşerek yanmasını burda devam ettirmesidir. Bunun sonucu olarak , ızgaralar aşırı ısınarak bükülür.

3.6 KONTROLLÜ HAVA İLE YANMALI ÇÖP YAKMA FIRINLARI

Kontrollü havalı çöp yakma fırınlarının özeliği , yanma operasyonunun iki ayrı odada meydana gelmesidir. İlk oda veya ateşleme odası , çöpün yüklendiği ve stokiometrik şartlarda yanma prosesinin gerçekleştiği yerdir. Ateşleme odasındaki yanma havası tam olarak ayarlanır ve genellikle sisteme alt hava (ateş altı havası) olarak verilir. Burada üç proses meydana gelir. Öncelikle çöp içerisindeki nem uçucu hale getirilir. Uçucu hale getirilen küçük parçacıklar buharlaştırılır ve ikinci odaya doğru yönlendirilir. Son olarakda çöp içerisinde kalan karbon yakılır. Yanma havası , hava fazlası miktarına bağlı olarak ayarlanır. Fırın içerisinde, türbülans oluşturularak iyi bir karışım oluşması sağlanır. Bu karışım genellikle çok yüksek sıcaklıkta yanar. Bu sıcaklığın altında

gazların yanabilmesi hava fazlası ve türbülans sayesinde sağlanır.

Kontrollü havayla yanmalı bir çöp yakma fırını için yanma kontrolü ilk ve ikinci odalardaki sıcaklığa bağlıdır. Her bir odada termokupl kullanılarak devamlı bir şekilde sıcaklık kontrolü sağlanır ve bu değerlere bağlı olarak yanma havası hızları ayarlanır. Kontrollü hava prensiblerinin altında çalışan sistemler, yanma havasının kontrolünü oldukça değiştirirler. Birçok fırınlarda, ilk ve ikinci yanma havası sistemleri, çöpün bileşimi ve karakteristiği değişse bile istenilen yanma odası sıcaklığını otomatik ve devamlı olarak sağlayabilmektedir. Özellikle küme beslemeli veya aralıklı çalışan sistemlerde, yanma havası kontrolü oldukça basittir. Sıcaklık yükseldiğinde, yanma havası hızını düşürmek için seviye göstergesi yüksek konumdan alçak konuma getirilir.



Şekil 3.6 Kontrollü Hava İle Yanmalı Çöp Yakma Fırını

Kontrollü hava tekniğinin birçok avantajı vardır. İlk odadaki sınırlı hava hızlı yanmayı önler ve oda içersinde pasif bir durumun oluşmasını sağlar. Bu pasif durum yanma gazlarındaki partikül maddelerin köpüklenmesini minimuma indirir. Yüksek sıcaklık , ilk odadaki uçucu gazların tamamen yanmasını sağlayarak ve ikinci odada fazla hava ile türbülanslı bir ortam oluşturularak meydana getirilir. İkinci odanın sıcaklığı hava kontrol cihazları yardımıyla istenilen seviyede tutulur.

3.6.1 Aralıklı Çalışan Kontrollü Hava İle Yanmalı Çöp Yakma Fırınları

Bu tür fırınlarda , fırının günlük çöp yükleme periyodu yaklaşık olarak 8 ila 14 saat arasında sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırma kül miktarına bağlıdır. Çalışma periyodundan arta kalan zamanda külün tamamen yanması , soğutulması ve temizlenmesi istenir. Küçük üniteler için elle besleme yapılırken 225 kg / h ve yukarısı kapasitelerde mekanik atık besleme sistemleri kullanılır. Bu sistemlerin kullanılmasının amacı , öncelikle çalışma esnasında operatörü ısı , alev ve yanma ürünlerinin etkisinden korumasıdır. İkinci olarak da çevre havasının fırına girişini sınırlandırır. Bu da gerekli yanma havasıyla , yanma hızının tam olarak kontrolünü sağlar.

Bu fırınlarda külün uzaklaştırılması fırının çalışmasını sınırlandıran bir faktördür. Fırın soğuma periyoduna girdikten sonra kısa zaman aralıklarında kül uzaklaştırılmalıdır. Aşağıda aralıklı çalışan kontrollü havayla yanmalı çöp yakma fırınlarının günlük çalışma periyodu görülmektedir.

Tablo 3.3 Aralıklı Çalışan Kontrollü Hava İle Yanmalı Çöp Yakma Fırınlarının Günlük Çalışma Periyodu.

Çalışma Prosesi	Süre
Bir gün önceki küllerin temizlenmesi	15 - 30 dak.
Fırının ön ısıtılması	15 - 60 dak.
Kül oluşuncaya kadar yanma	4 - 4 saat
Soğutma	5 - 8 saat

3.6.2 Devamlı Olarak Çalışan Kontrollü Hava İle Yanmalı Çöp Yakma Fırınları

Devamlı olarak kontrollü havayla çalışan çöp yakma fırınlarının kapasiteleri 225 kg /h ile 1350 kg / h arasında değişir[8].Devamlı olarak besleme işlemi için bir mekanik sistem kullanılır.Bu sistemde, çöplerin toplandığı bir hazne bulunmaktadır.Çöp hazne içine konup kapak kapadıldıktan sonra , çöpler yükleme kafası yardımıyla fırın ağzına doğru itilir.Fırın içine çöpler boşaltıldıktan sonra , kafa tekrar yerine çekilir ve yeni bir yükleme için hazır hale getirilir.

Aralıklı ve devamlı olarak çalışan kontrol havalı çöp yakma fırınları , yarı devamlı yüklemeye uygun bir şekilde dizayn edilirler.Bu tip fırınlarda ilk dizayn değişikliği, sistem çalışırken operatörün güvenliğini sağlayacak şekilde yükleme cihazlarında yapılır.Aşağıdaki tabloda kontrollü havayla yanmalı çöp yakma fırınlarında çalışma parametreleri ve çalışma oranlarıyla ilgili değerler görülmektedir

Tablo 3.4 Kontrollü Hava ile Yanmalı Çöp Yakma Fırınlarda Çalışma Parametreleri ve Çalışma Oranları

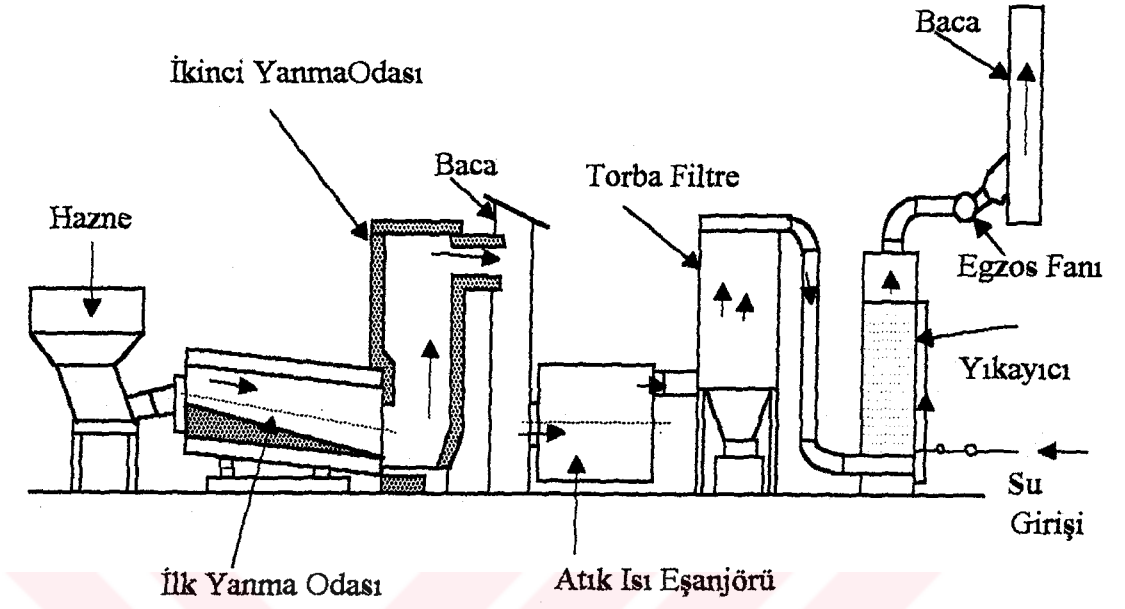
PARAMETRELER	ÇÖP YAKMA FIRINI TİPİ		
	Küme Beslemeli	Aralıklı Beslemeli	Devamlı Beslemeli
Ateşleme odası sıcaklığı °C	540 - 980	540 - 980	760 - 1200
Yanma odası sıcaklığı °C	980 - 1200	980 - 1200	980 - 1200
Yükleme oranı kg / h	Çevrim başlangıcın da oda bir kez doldurulur.	5 - 15 dak. da yükleme kapasitesinin % 10 - % 25	5 - 15 dak. da yükleme kapasitesinin % 10 - % 25
Ateşleme odasındaki yanma havası (% Stokiyometrik)	30 - 80	30 - 80	30 - 80
Toplam yanma havası (%)	140 - 200	140 - 200	140 - 200
Yanma gazları oksijen konsantrasyonu (%)	12 - 14	12 - 14	12 - 14
Ateşleme odası çekişi cm SS	-0.127 - -0.254	-0.127 - -0.254	-0.127 - -0.254
Tamamen yanma süresi (saat)	2 - 5	2 - 5	Uygulanamaz

3.7 DÖNER FIRINLAR

Bu fırınlarda da çöp iki yanma hücrelerinde yok edilir. İlk yanma odası yatay düzlemde hafif eğim verilmiş döner bir silindirden oluşmaktadır. İkinci yanma odası ise genellikle silindirik bir şekle sahiptir. Fırını besleme işlemi fırının üst kısmında mekanik besleme sistemi yardımıyla yapılır. Yanma havası, hava fazlası sayesinde sağlanır. Fakat bazı döner fırınlarda, fırın içersine stokiometrik havanın altında çalışabilmesi için özel sızdırmazlık elemanı ve hava püskürtücüleri kullanılır. Fırın çalışırken stokiometrik olarak gerekli fırın boyutları düşmekte ve ikinci yanma odasında kullanılan yakıt miktarı azalmaktadır. Fırın içersinde, çöpdeki nem ve uçucu maddeler buharlaştırılarak çöpün yakılması sağlanır. Fırındaki yardımcı yakıcılar, çöpün yanması için gerekli sıcaklık oluşmadığında yanma sıcaklığını istenilen değere gelmesini sağlarlar. Bu değer çöpün özelliğine ve yerleşimine bağlı olarak $760\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $1670\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır[5,7].

Döner fırınlar küme veya devamlı beslemeli olabilir ve kapasiteleri $600 - 2000\text{ kg / h}$ arasında değişir. Bu fırınlarda işlenecek madde miktarı, dönme hızına ve eğim açısına bağlı olarak değişir. Tipik olarak, döner fırınlar dakikada $0.25 - 1.5$ devir ve yataydan 11° 'den daha az açı yapacak şekilde dönerler[7]. Bu her iki parametre işlenecek madde miktarına bağlı olarak ayarlanır.

İstenilen çalışma sıcaklığına ve çöpün ısıtma değerine bağlı olarak zehirli atık yakan döner fırınlarda, hava fazlası miktarı $\% 140$ ile $\% 210$ arasında değişir[7]. Çok su içeren atıklar yakıldığında uygun sıcaklığı sağlamak için daha düşük hava fazlası gerekebilir. İkinci yanma odasındaki hava fazlası miktarı, ilk yanma odası hava fazlası miktarının yaklaşık $\% 80$ ' ni kadardır. Örneğin, $820\text{ }^{\circ}\text{C}$ ilk yanma odası sıcaklığı ve $980\text{ }^{\circ}\text{C}$ ikinci yanma odası sıcaklıklarında, ilk odadaki hava fazlalığı $\% 210$ ise ikinci yanma odasında yaklaşık olarak $\% 160$ ile $\% 170$ arasında hava fazlası kullanmak gerekecektir.



Şekil 3.7 Döner Fırın

4. TİCARİ VE ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN YAKILMASI

4.1 Çöplerin Sınıflandırılması

Yakma fırını dizaynı , yanan çöplerin özelliklerinin ve tiplerinin bilinmesiyle başlar.Kimyasal bileşimi ve nem içeriği gibi spesifik özelliklerin kesin olarak bilinmesi dizayn açısından önemlidir.Eğer bu bilgiler bilinmiyorsa , fırın yakma hesapları çok fazla hata olmadan Tablo 4.1' den yararlanarak hesaplanabilir.

Çöpler, genellikle çok geniş bileşim oranlarına ve fiziksel karekteristiklere sahiptirler.Bunun sonucunda, dizayn kriterlerinin belirlenmesi , hesapların yapılması için çöpler belirli oranlarda sınıflandırılmalıdır.

Bu sınıflandırma ;

1. tip çöpler : İçersinde çöp , süprüntü , kağıt , mukavva , paçavra odun talaşı gibi yanıcı maddeler ile ticari ve sınai çöpler bulunan atıklardır.Islak maddeler içersindeki serbest nem dahil olmak üzere bu tip atıklar içersinde , %25 oranında nem ve %10 oranında yanmayan katı artık madde bulunabilir. Isıtma değeri 15,000 kJ / kg ' dır.

2. tip çöpler : 1. tip atıkların ıslak bitkisel atık ve etlerle karışımıdır.Genellikle evlerden fakat , aynı zamanda sınai kuruluşlarından , kantinlerden ve yiyecek işleme merkezlerinden çıkan bu tür atıklar , yaklaşık %50 oranında nem ve % 7 oranında yanmayan katı maade içerirler. Isıtma değeri 10,000 kJ / kg civarındadır.

3. tip çöpler : Kafeterya , lokanta , otel , çarşı tatil kampları ve benzeri yerlerden çıkan çöp , bitkisel ve hayvansal atıklardan oluşur.Bu tür atıklar genellikle yaklaşık %70 oranında neme ve % 5 oranında yanmayan katı maddelere sahiptirler.

4.2 Çöp Yakma Fırınları

Çöp yakma fırını araştırmaları ve testleri sonucunda elde edilen tecrübelerle, iki basit tip çok odalı çöp yakma fırını dizaynı oldukça gelişmiştir.Bunlar potalı ve hat tipi çöp yakma fırınlarıdır.

Şekil 4.1' de tipik bir çok odalı potalı tip (retort type of multiple chamber incinerator) çöp yakma fırını görülmektedir.Bu tip fırınlarda gaz U şeklinde bir yol izleyerek dışarıya doğru akar.Şekil 4.2 ' de ise hat tipi (in-line type of multiple chamber

Tablo 4.1 Kağıt , Ağaç ve Mutfak Atıkları İçin Yanma Özellikleri ve Yanma Verileri [6].

	Madde					
	Kağıt ^(a)		Ağaç		Mutfak Atıkları ^(b)	
Bileşim	Analiz					
Karbon	44.34		49.56		52.78	
Hidrojen	6.27		6.11		6.27	
Azot	-		0.07		-	
Oksijen	48.39		43.83		39.95	
Kül	1		0.42		1	
Isıl Değer ^(c) (kJ / kg)	17,654		19,810		20,515	
Yanma Verileri						
Bileşim ^(d)	Nm ³	kg	Nm ³	kg	Nm ³	kg
Kuramsal Hava	4.22	5.17	4.83	5.91	5.31	6.51
15 °C'de %40 doymuş hava	4.25	5.19	4.86	5.94	5.35	6.54
Kuramsal Hava ile Yanma Sonucu Oluşan Duman Gazları						
Karbondioksit	0.87	1.63	0.98	1.82	1.04	1.94
Azot	3.33	3.95	3.82	4.52	4.2	4.98
Su	0.73	0.56	0.72	0.55	0.74	0.56
Su (hava)	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03
Toplam	4.96	6.16	5.55	6.92	6.02	7.51
Geçek Hava ile Yanma Sonucu Oluşan Duman Gazları						
0	4.97	6.16	5.54	6.91	6.02	7.5
50	7.08	8.74	7.96	9.86	8.7	10.77
100	9.19	11.32	10.37	12.81	11.36	14.04
150	11.32	13.91	12.8	15.78	14.04	17.21
200	13.44	16.51	15.23	18.75	16.71	20.58
300	17.68	21.7	20.09	24.68	22.06	27.12

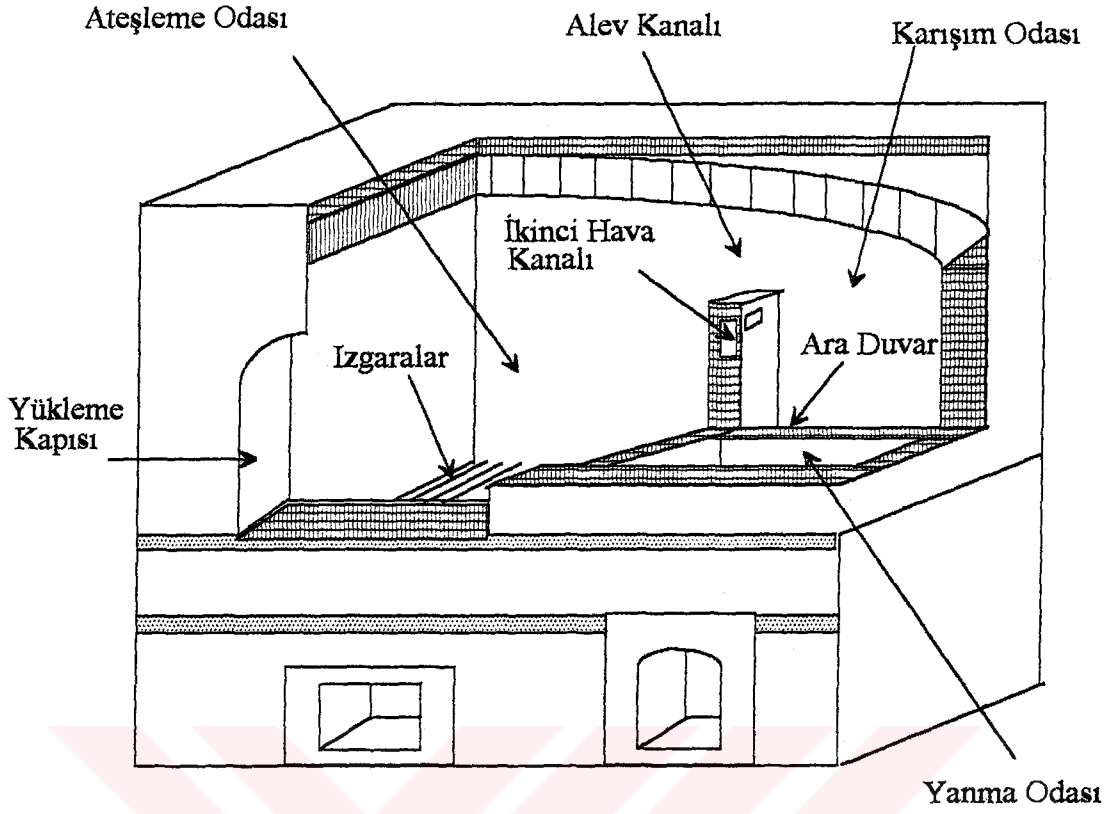
(a)- Kağıt bileşimi:

%84 Seliüloz (C₆H₁₀O₅)%8 Yarı selüloz (C₅H₁₀O₃)%6 Lignin (Odun özü)(C₆H₁₀O₅)%2 Reçine (C₆H₁₀O₅)%1 Kül (C₂₀H₃₀O₂)

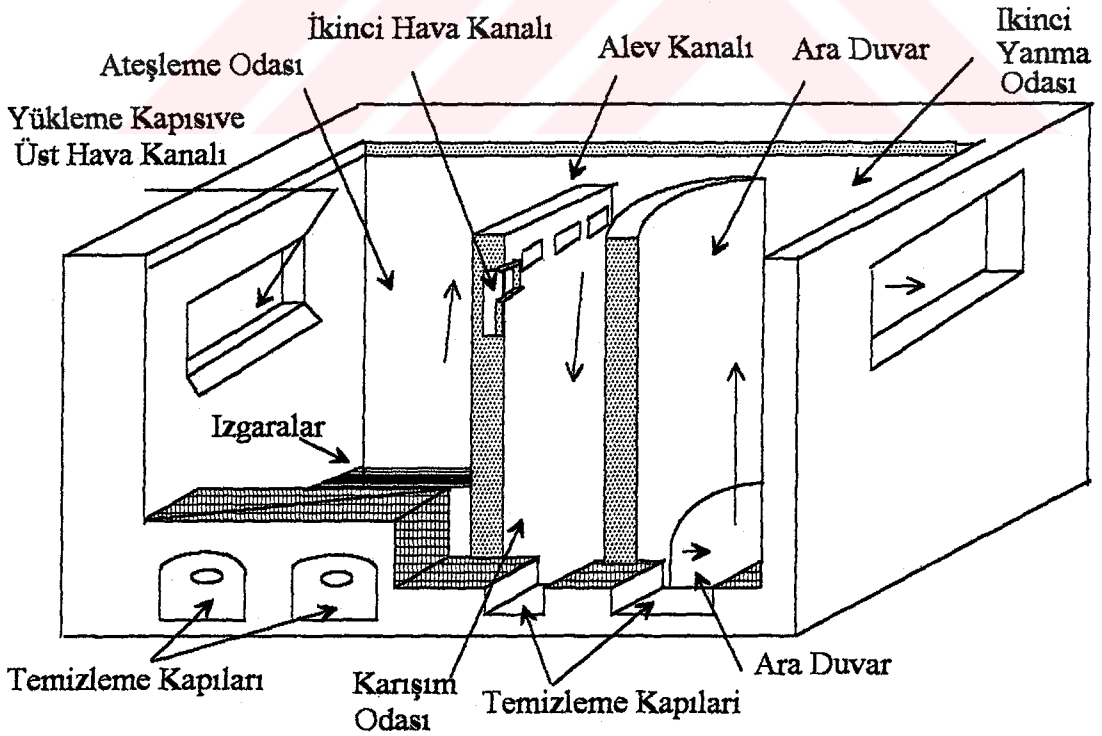
(b)-Tahmini

(c)- Kuru olarak

(d)- 1 kg çöpe (kağıt , ağaç veya mutfak artığı) bağlı olarak



Şekil 4.1 Çok Odalı Potalı Tip Çöp Yakma Fırını



Şekil 4.2 Çok Odalı Hat Tipi Çöp Yakma Fırını

incinerator) bir dizayn görülmektedir. Burada akış hattı boyunca odalar bulunmaktadır.

Her iki tip çöp yakma fırınında , yanma prosesi iki aşamada meydana gelmektedir. İlk aşamada, katı fazda, ateşleme odasındaki yanma ve bunu takiben ikinci yanma odasındaki , gaz fazdaki yanmadır. İkinci yanma odası, karışım ve yanma odasından oluşmuştur. İki aşamalı proseslerde, gaz akışı ve yanma tepkimesi şöyle gerçekleşmektedir :

Ateşleme odasındaki tepkime , katı atıkların kurutulması , ateşlemesi ve yakılmasını içerir. Yanma, nemli ve kolay gaz haline gelebilen yakıt bileşenlerinin buharlaşması ve kısmen de ateşleme odasından karışım odasına geçerken oksitlenmesiyle devam eder.

Yanma ürünleri ve kolay gaz haline gelen çöpler, alev kanalından karışım odasına geçer ve burada ikinci havayla karışır. Yüksek sıcaklık ve ilave yanma havası karışımı, yanma prosesi ikinci kademesinde ilerlemeye devam eder. Türbülanslı karışım gaz fazı reaksiyonuna doğru yükselir.

Gazlar , karışım odasından son yanma odasına bir duvar üzerinden geçerken yön değişikliğine maruz kalırlar. Son olarak gazlar bacaya doğru yönelirler.

4.3 Yanma Prensipleri

Çöpte bulunan maddelerin heterogen yapısından dolayı , birçok faktör deneysel esaslar dışında doğru olarak tahmin edilemez. Aşağıda, verimli bir yanma için genellikle çöp yakma fırınlarında uygulanan basit temel prensipler verilmiştir.

- 1- Hava ve yakıt uygun oranda karışmalıdır.
- 2- Hava ve yakıt , özellikle yanabilen gazlar yeteri derecede karıştırılmalı
- 3- Sıcaklık , katı yakıt ve gaz bileşimlerini ateşleyecek yeterlilikte olmalı
- 4- Fırın hacmi , tam yanma için gerekli zamanı sağlayacak büyüklükte olmalı
- 5- Fırın oranları , örneğin, ateşleme sıcaklığı sağlanmalı ve kül girişi sınırlandırılmalıdır.

Atık maddelerdeki çok geniş kimyasal , fiziksel özellikler ve besleme oranlarının değişmesi çöp yakma fırınlarının önemli derecede gelişmesine sebep olur. Diğer yanma proseslerinde yakıt özellikleri ve oranları tahmin edilebilir ve tamamıyla kontrol edilebilir. Bu ideal durum birçok yakma proseslerinde sağlanamaz. Buna ilaveten çöp

bileşimindeki ıslaklık , uçuculuk , farklı kül bileşimi , yoğunluk , yanma ısısı , yanma oranı ve partikül büyüklükleri çok farklı değerler gösterirler.Tüm bu faktörler , çalışma oranlarını , alev yayılımını , yanma sıcaklığını ve yanma havası gibi bütün değerleri doğrudan etkiler.

Çok odalı çöp yakma fırınları üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda , çöp miktarı için ızgara yükü , ızgara alanı , ark yüksekliği , ilk yanma odası genişlik ve uzunluk oranları , alev kanalı karışım odası , ikinci yanma odası , yanma havası temini ve çekiş özellikleri gibi kriterlerin dizayn açısından önemli olduğu görülmüştür.

4.4 Ateşleme Odası

Çöp yakma prosesindeki ateşleme mekanizması temel olarak yakıt yatağı yanmasıdır.Bu üst yanma havasının (ateş üstü havası) fazla , alt yanma havasının (ateş altı havası) az kullanılmasıyla oluşur.Ateş üstü havası, aynı zamanda ateşleme odasındaki çöp yığınının üzerindeki yanma havasıdır.Bu hava genellikle yakma fırını ön tarafındaki yüklenme kapısı üzerine yerleştirilmiş hava kanallarından sağlanır.Ateş altı havası , kül temizleme kapısı üzerine yerleştirilmiş hava kanallarından külleğe doğru hareket eden yanma havasıdır.

Üst hava girişi sınırlandırılarak düşük yatak sıcaklığı temin edilir ve dışarı akan madde miktarı sınırlandırılır. Yakıt yatağının yüzeyinde üst hava kullanılırsa , yüklenme kapısı , ateşleme odası duvarı önüne veya alev kanalından en uzaktaki odanın sonuna yerleştirilmelidir. Bunun sebebi, yeni bir çöp yüklemesinin yapılabilmesi içindir.Bu metod, istenilen verimli yanmayı devam ettirmek için dışarıya doğru akan yanma havası hareketleri sonucu oluşur. Bu dizayn ve yüklenme metodları ile yeni yüklenen çöplerdeki uçucu maddeler denge hale getirilir ve yakıt yatağı üzerinde yüksek sıcaklık bölgesi oluşur. Bu yolla çöp ateşleme oranı kontrol edilir. Üstten ve yandan yüklenme yaparken ani buharlaşmanın önlenmesi , alev sönmesi ve duman oluşumu ile karşılaşılır. Diğer metodlar ise yeterli değildir. Çünkü bu metodlar, suspensiyonun ve dışarıya akan kir ve tozun artmasına yol açar. Bu durum dengenin bozulmasına yol açtığı gibi ocağın fazla yüklenmesine yol açar. Aşırı yüklenme, gerekli yanma havası ve uygun yüklenme ile yanma oranları kontrol edilerek, yeni bir yüklemeden önce yatağın ileri doğru taşınmasıyla azaltılabilir.Ateşleme odasındaki yanma tepkimesinin kontrolü ve mekanik

olarak kül ve partikül miktarının azaltılması çöp yakma fırını dizaynı için son derece önemli bir konudur.

Çok odalı çöp yakma fırınlarında , yanma sonucu meydana gelen katı ve sıvı emisyonlar , ateşleme odasında meydana gelen yanma prosesi sonucu ortaya çıkar. İlk yanma odasında , uzunluk-genişlik oranları , ark yüksekliği fırın dizaynı için önemli parametrelerdir.

4.5 Uzunluk - Genişlik Oranları

250 kg / h 'lik kapasiteye kadar çöp yakan potalı tip fırınlarda, yapılan deney sonuçlarında , uzunluk - genişlik oranları 2.0 : 1 den 2.5 : 1 ' e kadar değiştiği gözlenmiştir. 250 kg / h 'in üzerindeki kapasitelerde ise bu oran optimum 1.75 : 1 olarak belirlenmiştir.

İyi bir sınır değerleri belirlenememesine rağmen , 10 - 350 kg / h ' e kadar yanma oranları için optimum performans değerleri, potalı tip çöp yakma fırınlarında belirlenebilmektedir. Daha yüksek kapasitelerde istenilen yanma karakteristiklerini , uygun alev yolu ,yanma havası dağılımını ve diğer kritik değerleri belirlemek oldukça zordur. 350 kg / h 'den fazla kapasitelerde ise hat tipi çöp yakma fırınlarının yanma oranları oldukça elverişlidir. Bu fırınlarda optimum uzunluk - genişlik oranları , 350 kg / h kapasiteli bir ünite için 1.65 : 1 ' den başlar ve 900 kg / h ve yukarısı kapasitelerde bu oran 1.2 : 1 ' e kadar azalır[6].

4.6 Ark Yüksekliği

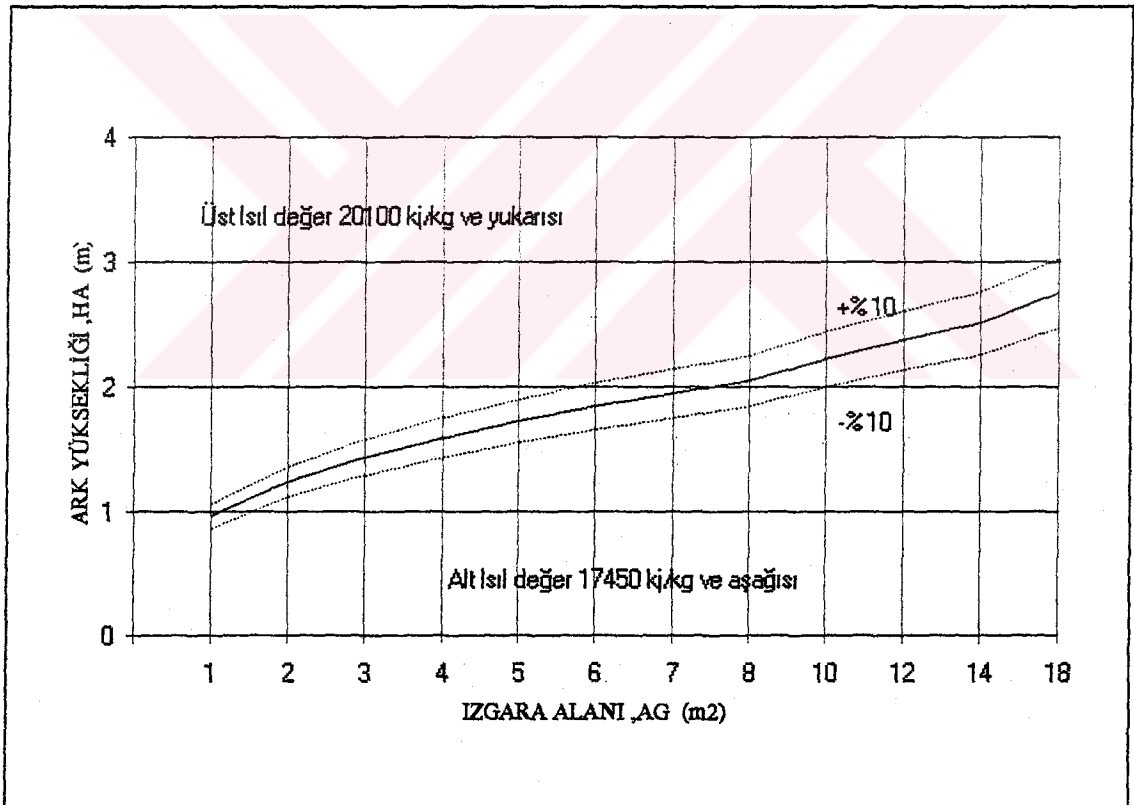
Ark yüksekliği , dışarıya atılan kirletici elementlerin etkilerini değerlendirerek belirlenmelidir. Ark yüksekliği , ızgara üzerinden ark tabanına olan mesafedir. Aynı çöpü yakan ve aynı ızgara yüzeyine sahip fakat , farklı ark yüksekliğine sahip çöp yakma fırınlarında, yanma hızları ve kirletici elementlerin karakteristikleri çok farklıdır[6].

4.7 Izgara Yüklü

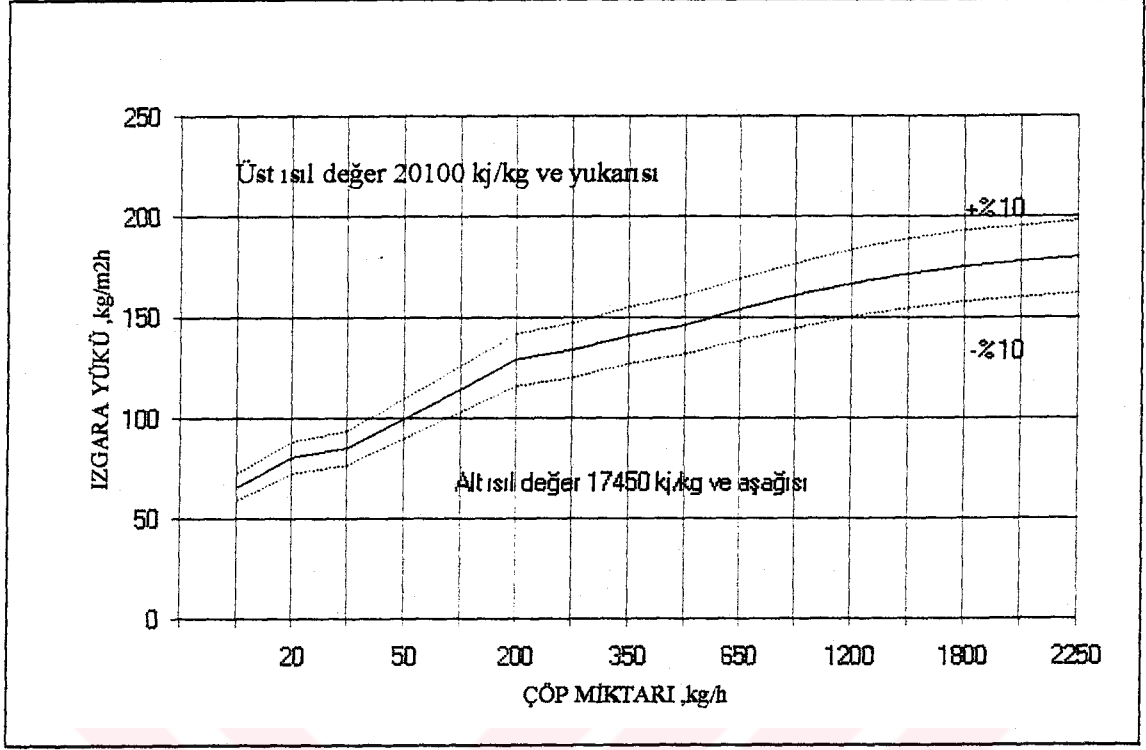
10 - 350 kg / h kapasiteye kadar çöp yakan fırınlarda ızgara yükü , 73 - 120 kg / m² h kadar değişir. Küçük çöp yakma fırınlarında yükleme ve ateşleme

daha geniş ızgara alanı ve daha düşük yükleme oranı ile orantılıdır. 350 kg / h' dan daha fazla yanma hızları için ızgara yükü 120 - 170 kg/m²h kadar değişir. Buradaki üst sınır çöpün kompozisyonuna bağlı olarak %10 ila %15 oranında değişir. Bir çöp yakma fırını 240-340 kg / m² h ızgara yükü ile çalışacak tarzda dizayn edilir. Bununla beraber , yanma havası olarak alt hava kullanılmak suretiyle dışarıya atılan kirletici (zehirli) elementlerde oldukça önemli bir azalma sağlanır[6].

Ark yüksekliği ve ızgara alanı optimum değerleri , yanan çöplerin toplam ısı değerleri ve saatlik yanma hızlarına bağlı olarak şekil 4.3 ve şekil 4.4 ' deki grafikler yardımıyla kolayca hesaplanabilir. Grafiklerdeki herbir eğri 20,100 kJ / kg 'lık üst ısı değer ve yukarı , 17,450 kJ / kg 'lık alt ısı değer ve aşağısı için verilmiştir. Üst ve alt eğriler arasındaki enterpolasyon verilen ısıtma değerlerine bağlı olarak çöp için gerçek ark yüksekliğini ve ızgara alanını verir. \pm % 10 oranında bir sapmada göz önüne alınmıştır.



Şekil 4.3 Çok Odalı Çöp Yakma Fırınları İçin Izgara Alanı İle Ark Yüksekliği Arasındaki İlişki



Şekil 4.4 Çok Odalı Çöp Yakma Fırınları İçin Çöp Miktarı İle Izgara Yüğü Arasındaki İlişki

4.8 İkinci Yanma Odası

Çok odalı çöp yakma fırınlarında, ikinci veya gaz fazı yanma tepkimeleri büyük ölçüde alev kanalı, karışım odası ve ikinci yanma odası tarafından kontrol edilir. Bu parametreler arasındaki ilişkiler belirli gaz hızları veya yanan çöpün tipi ve özellikleri için gerekli hacimlerle belirlenir. Bu da, gerekli yanma havasının, yanma ürünlerinin ağırlık ve hacimlerinin, yanma sıcaklığının, ısıtma değerinin, nem, yanma oranının ve kül içeriğinin belirlenmesine neden olur. Yanma prosesinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi yanan çöplerin son analizlerinin yapılmasıyla gerçekleşir. Bununla beraber çöp oldukça fazla sahip olması bu analizlerin yapılmasını oldukça güçleştirir.

Evsel, ticari ve endüstriyel çöpler genellikle, ot, ağaç yaprakları, tahta, kağıt paçavra gibi büyük kısmı selüloz içerikli organik maddelerdir. Bu görüş ışığı altında yanma analizleri, nem içeriği ve çöpteki tahmini selüloz içeriklerinin stokiometrik tepkimeleri göz önüne alınarak yapılır.

Gaz fazı yanma bölgesi dizayn faktörleri , ikinci yanma odasındaki çeşitli yanma oranları, kanal boyutları ve ikinci yanma havası üzerinde yapılan değişiklikler tarafından geliştirilebilir. Çok odalı çöp yakma fırınlarında ikinci karışım ve yanma odası oranları , gaz hızları , türbülans ,alev yolu , yanma derecesi , kirletici maddelerin boşaltılması gibi parametreleri geliştirerek dizayn özelliklerini arttırmak mümkündür. İkinci karışım ve yanma odasının uygun dizayn ile uçucu katı komponentlerin yanması daha da geliştirilebilir. Son yanma odası iki amaca hizmet eder ; Gaz fazı yanma olayını bitirir ve uçan küllerin çökmesini sağlar.

Alev kanalı yüksek gaz hızı oluşturmak için dizayn edilir. Alev kanalından ayrılan gazlar ani yön değiştirerek , karışım odasında genişler. Bunun amacı yüksek sıcaklık bölgesinde ikinci yanma havası ile ateşleme odasında türbülans ve karışımı sağlamaktır. Gaz fazı yanması , karışım odasında tamamlanması gerekir. Yanma odasından karışım odasını ayırmak için aradüvar bölgesi , karışım odasından % 50 daha büyük olmalıdır. Bu çekiş kayıplarını azaltır ve küllerin burada toplanmasını sağlar. Ara duvar büyük seçilirse , efektif karışım odası uzunluğu düşürülür.

İkinci yanma odasındaki optimum gaz hızlarını şöyle özetleyebiliriz.

Alev Kanalı : Gaz hızları 13.7 m/s ile 19.8 m/s arasında değişir

Karışım Odası : Gaz hızları 6 m/s ile 10.6 m /s arasında değişir

Ara Duvar : Gaz hızı 3 m/s ile 4.5 m/s arasında değişir

İkinci Yanma Odası : Gaz hızı 3 m/s aşmamalıdır.

4.9 Yanma Havası

Çok odalı çöp yakma fırınlarında, yanma verimini ve kirletici madde miktarını etkileyen son faktörde, yanma havası temini , dağılımı ve yakıcı için fazla ısı teminidir.

Yanma havası, yüklenen maddelerin tamamen okside olmasını sağlayacak miktarda olmalıdır. Bu da kirletici madde miktarını azaltarak , dağılımın iyi bir şekilde yapılması ile sağlanır. Çöpün tam olarak yanması için gerekli kuramsal hava miktarına en az %100 oranında hava ilavesi gerekir. Hava kanalları , % 10 'dan fazla havanın ateş altına gitmesini önlemek için dağıtılmalıdır. Havanın yaklaşık % 70' i üst hava kanalına ve % 20 ' de karışım odasına gidecek şekilde ayarlanmalıdır[6]. Fırın sıcaklığını kontrol için gerekli fazla hava ikinci hava kanalından sağlanır. İkinci yanma havası ocak duvarı

üzerine yerleştirilmiş kontrol edilebilen hava kanalından sağlanır. Hava tuğla duvar üzerindeki kanaldan karışım odasına geçer.

Normal çalışma koşulları altında , ateşleme odası için sağlanan ilk yanma havası, karışım odasına geçen uçucu ve katı komponentlerin tam olarak yanması için yeterlidir. Aynı zamanda , fazla uçucu maddelerin bulunması veya kapasitenin üzerinde yüklemenin yapılması sonunda, yanma havasında eksilme olacaktır. Bu durumda duman ve diğer yanma ürünleri alev kanalına ve karışım odasına geçer. Bu olay meydana gelirken gerekli ikinci hava , tam yanmayı ve dumansız çalışmayı sağlamak için karışım odasına gönderilir.

Bazı çöp yakma fırınlarında ,yanma havasına ilaveten soğutma havasına ihtiyaç vardır. Bu özellikle odun, tahta talaşı ve diğer çok uçucu çöplerin yakıldığı çöp yakma sistemlerinde görülür. Bu gibi özel durumlarda, hava için yapılan hazırlık, yalnızca yanma prosesi için gerekli yeri hazırlamak değil , aynı zamanda yüksek sıcaklıktan dolayı refraktör duvarını korumaktır. Bunun için ilave bir hava kanalına ihtiyaç vardır.

Çok odalı çöp yakma fırınlarında, % 100 - % 300 arasında yanma havası ile çalışmak normaldir. Hava kanalı alanı yanma prosesinde gerekli toplam havanın % 50 sini dağıtacak büyüklükte olmalıdır. Bu da kuramsal havaya yaklaşık % 100 fazla hava ilavesini gerektirir. Geriye kalan hava bağlantı noktalarından , yükleme kapısından , ve diğer sızıntı noktalarından içeriye girer.

Üst hava kanalı , yakma fırının ön duvarındaki yükleme kapısı üzerine yerleştirilir. Herhangi bir ilave hava kanalı ise, alev kanalından en uzaktaki ,ateşleme odasının sonundaki duvar üzerine yerleştirilir. Alt hava kanalları ızgaranın altına ve ikinci yanma havası kanalları ise fırın duvarlarının birleştiği köşe üzerine yerleştirilir. İkinci yanma havası koridoru tuğla duvarlardan oluşturulur ve dış duvara kadar uzanır.İkinci hava giriş kanalları, karışım odasındaki duvar üzerine , alev kanalınının hemen altına yerleştirilir. Eğer ek bir ikinci havaya ihtiyaç duyulursa , ilave kanallar karışım odasının dışı bakan duvar yüzeyi üzerine yerleştirilir.

4.10 Ek Isı

Çöp yakma fırınlarında iyi bir performans, operatör tarafından verilen dikkate bağlıdır. Dizayn yaparken sık karşılaşılan problemlerden biri yakıcı seçimidir. 1.tip

çöpleri yakmak için çok odalı çöp yakma fırınlarında, yardımcı ısı sağlamak için yakıcı kullanmak genellikle istenmez. Yakıcı varsada karışım odası için kullanılır. Olası bir sönme durumu dışında , bu tür çöp bulunan ateşleme odalarında yardımcı yakıcılara ihtiyaç yoktur.

Çok yüksek nem oranına sahip 2 .tip çöpleri yakmak daha da zordur. Bu tür çöp yakan fırınlarda ateşleme odasında ek bir yakıcı olduğu gibi karışım odası için de ikinci bir yakıcıya ihtiyaç vardır. Nem miktarı arttıkça gerekli yardımcı ısı miktarı da artacaktır. Tablo 4.2 'de çöpteki nem miktarına bağlı olarak gerekli yakıcı kapasiteleri verilmiştir.Yakıcı boyutları fırında yanan çöplerdeki en yüksek nem içeriğine bağlı olarak belirlenir. 150 kg / h 'lik kapasiteye kadar ateşleme ve karışım odası yakıcıları venturi tipi olabilir. 150 kg / h 'den büyük kapasiteye sahip fırınlarda ise ilk ve ikinci yakıcılar nozül tipi olmalıdır. Bu tip yakıcılar, verilen gaz tüketim miktarı için maksimum alev sahası sağlar. Yakıcı ayarları , parlak alev verecek ve karışım odasını enine alev kaplayacak şekilde yapılır.

4.11 Dizayn Parametreleri ve Hesapları

Çöp yakma fırını dizaynı yaparken dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır. Yanma havası dağılım oranları , çekiş ve sıcaklık kriterleri , yanma odası uzunluk - genişlik oranları , ark yüksekliği , ızgara yükü , ikinci yanma odası yanma hızları ve oranlarıdır. Bu faktörlerin bazıları, saatlik yanma oranları ve deneysel formüllerle açıklanmasına rağmen diğerleri fırın boyutlarından bağımsız değerlerdir.

Tablo 4.2 ' deki dizayn faktörlerini kullanabilmek için kullanılabilir bir formda fırın verileri verilmesi gerekir.Hesaplamaları üç gruba ayırabiliriz.

1- Çöp konsantrasyonuna , hava miktarına ve tahmini ısı kaybına bağlı olarak yanma hesaplanır.

2- Yanma ürünü özelliklerine ve gaz sıcaklığına bağlı olarak akış hesapları yapılır.

3 - Ölçüm ve deneysel eşitliklerle boyutlandırma yapılır.

Gerekli dizayn parametreleri ile karşılaştırma yaparak hesaplamaları kolaylaştırmak için kabuller yapılabilir. Bu kabuller gerçek bir çalışma ortamını sağlayacak uygun değerler olmalıdır. Hesaplama yaparken yapılabilecek kabulleri şöyle

Tablo 4.2 Çok Odalı Çöp Yakma Fırınlarında Dizayn Faktörleri

Faktör ve Sembolü	Önerilen Değer	İzin Verilen Sapma
İlk Yanma Odası : Izgara Yüklü , L_G	Çöp miktarı , R_C kg /h bağı olarak Şekil 4.4 de verilmiştir	\pm % 10
Izgara Alanı , A_G	$R_C \cdot L_G$ (m^2)	\pm % 10
Ark Yüksekliği , H_A	Şekil 4.3 ' de Izgara alanına bağı olarak verilmiştir. (m)	\pm % 10
Uzunluk-Genişlik Oranı : Pota Tipi Hat Tipi	250 kg/h kapasiteye kadar 2.5:1'den 2:1' e kadar , 250kg/h - 350 kg/h kapasiteler arası 1.75:1 'den 1.7:1'e kadar , 900 kg/h kapasiteye kadarda 1.2:1'e kadar azalmaktadır.	—
İkinci Yanma Odası: Gaz Hızları: Alev Kanalı 540 °C , v_{FP}	16.5 m/s —	\pm %20
Karışım Odası 540 °C , v_{MC}	7.5 m/s	\pm %20
Ara Duvar 510 °C , v_{CWP} Yanma Odası 480 °C , v_{CC}	Karışım odasının yaklaşık % 70 1.5 -1.8 m/s	—
Karışım Odası Yüksekliği	Ortalama ark yüksekliği (m)	\pm %20
Geçiş Alanı Uzunluk- Genişlik Oranları: Pota Tipi : Karışım ve Yanma Odası Hat Tipi : " "	1.3:1 - 1.5:1 Sabit finn genişliğinden dolayı gaz hızları sabittir.	---
Yanma Havaşı : Küme Besleme İçin Gerekli Hava Miktarı	Temel olarak % 300 hava ile çalışılmalı. Bu havanın %50'i yar- dımıcı kanallardan, % 50 'i yüklenme kapısından ve sızıntılardan girer.	—
Yanma Havaşı Dağılımı : Üst Hava Kanalı Alt Hava Kanalı Karışım Odası Hava Kanalı Kanallardaki Giriş Nominal Dinamik Basıncı	Toplam Havanın % 70 Toplam Havanın % 10 Toplam Havanın % 20 2.54 10 ⁻³ mSS	---
Giriş Havaşı Kanalı Boyut Faktörleri : İlk Hava Girişi Alt Hava Girişi İkinci Hava Girişi	1.2 22.5- 225 kg/h için , 2.5 225 kg/h ' in üzerinde 1.5 22.5-225 kg/h için , 5 225 kg/h 'in üzerinde , 2	—
Fırın Sıcaklığı	540 °C	—
Yakıcılar: İlk Yakıcı İkinci Yakıcı	700 - 2500 kJ / kg çöpteki nem mik. 950 - 2800 kJ / kg " "	—
Doğal Çekişli Baca Gazı , V_s	480 °C ' de 9 m/s 'den az	—
Çekiş Özellikleri Kuramsal Baca Çekişi	22.5 kg /h için , 3.81 10 ⁻³ mSS 450 kg/h için , 7.6 10 ⁻³ mSS 900 kg/h için , 8.9 10 ⁻³ mSS	---

özetleyebiliriz[6].

- Çok zor yanmanın meydana geldiği yanma koşulları dışında , yanma hızı ve çöp konsantrasyonu sabit olarak alınır.

- Yanma ürünlerinin ortalama sıcaklığı normal ısı dengesi hesaplarıyla yapılır. Isı kayıpları radyasyon , fırın yüzeyleri ve ilk bir saatlik çalışma esnasındaki çöpün yanmasıyla meydana gelen toplam ısıtmanın %20 ila %30 olarak belirlenir. 4 veya 5 saatlik bir çalışmadan sonra kayıplar , yaklaşık olarak toplam ısıtma değerinin %10 ila %15 kadardır.

- % 300 hava fazlası ve kabul edilen ısı kayıplarına göre hesaplamalar yapılırken tüm ortalama gaz sıcaklığı yaklaşık 540 °C civarında olmalıdır. Hesaplanan sıcaklık alev sıcaklığı değildir ve alev kanalındaki ve karışım odasındaki sıcaklığı göstermez. Eğer sıcaklık daha düşük ise yardımcı yakıcı seçilmelidir.

- Yanma ürünlerinin alev kanalından bacaya geçerken soğumaması için , gaz hızının kontrollünde kullanılan sıcaklığın , fırındaki gerçek sıcaklık gradyentinde olması gerekir.

- Yanma havası kanallarında (üst hava , alt hava ve ikinci yanma havası kanalları) çekiş hızları eşit olarak kabul edilmeli ve $2.54 \cdot 10^3$ mSS dinamik basınca eşdeğer olmalıdır. Bu değer de 6.4 m / s hıza eşdeğerdir.

- Hava kanalları teorik havaya % 100 hava fazlası eklenerek boyutlandırılmalı. Geriye kalan hava ise yükleme esnasında yükleme kapısından ve sızıntılardan fırın içersine girer.

Yanma hesapları için gerekli olan yanma ürünü ağırlık ve hızları ile ortalama sıcaklık değerleri , ısıtma değeri ve kuramsal hava özellikleri kullanılarak hesaplanabilir. Hava kanalları boyutlandırması hava miktarına ve hızına bağlı olarak yapılır.

Yanma ürünü ve sıcaklığı , akış bölgesinin ve odaların belirlenmesinde gereklidir. Çekiş özellikleri için gerekli hesaplamalar, standart baca hesaplarına göre yapılır. Doğal çekişli sistemler için verilen duman gazı hızları hat tipi çöp yakma fırınları için idealdir ve bacada minimum kayıp oluşur.

Fırın için gerekli diğer dizayn hesapları , fırın boyutlarına bağlı olarak hesaplanır. Şekil 4.3 ve 4.4 'den gerekli ızgara yükü , ızgara alanı , ortalama ark yüksekliği ile

uzunluk-genişlik oranları hesaplanır.

Gerekli hesaplamalarla yakıcı boyutları , baca çekişinin kontrolü ve yakıt hatları belirlenir.Çöpteki nem oranı ağırlık olarak %10 ' dan daha az ise yardımcı yakıcılara gerek yoktur. % 10 ila %20 arasında neme sahip ise karışım odası yakıcılarına ve % 20 den fazla neme sahip ise ateşleme odası yakıcılarına ilave yapılır.

4.12 Çöp Yakma Fırınları ve Dizayn Sınırlandırılmaları

Çeşitli tip çöp yakma fırınlarındaki performans özelliklerindeki gelişmeler , iki tip çok odalı çöp yakma fırını üzerinde yapılan optimum dizayn faktörleri ve çalışma limitlerindeki gelişmeler sonucunda belirlenir. Bu özellikler, aşağıda verilen her tip çöp yakma fırını için, verilen çalışma oranlarında , dizayn ve performans değerlerinde önemli bir avantaj sağlar

Potalı tip çöp yakma fırınlarındaki gerekli dizayn özellikleri ;

- Odalardaki düzenleme , yanmış gazların yatay ve düşey yönde 90° dönerek akmasına sebep olur.

- Gazın geri akışı , karışım ve ikinci yanma odası arasında bir duvar kullanılmasına izin verir.

- Karışım odası , alev kanalı ve ara duvar alanı uzunluk-genişlik oranları 1:1 den 2.4 :1 'e kadar değişir.

- Alev kanalı altındaki duvar kalınlığı karışım ve yanma odasındaki gerekli boyutların bir fonksiyonudur. Bunun sonucu olarak 225 kg / h ' den daha büyük kapasiteye sahip fırınlar hantal bir görüntü halini alırlar.

Hat tipi çöp yakma fırınlarındaki gerekli dizayn özellikleri ;

- Gaz akışı yalnızca dikey yönde dönerek fırın içine doğru hareket eder.

- Hat tipi oda düzenlemesi fırına prizmatik bir şekil verir. Bu düzen çalışma ve tamir için çok büyük olanak sağlar.

- Alev kanalı , karışım odası ve ara duvar uzunluk-genişlik oranları 2:1 ' den 5:1 'e kadar değişir[6].

4.13 Potalı ve Hat Tipi Çöp Yakma Fırınlarının Karşılaştırılması

Potalı tip çöp yakma fırınlarında optimum boyut oranları , kübik şeklinden ve

minumum dış yüzeyinden dolayı yapısal bir ekonomiklik sağlar. 20 kg / h 'den 350 kg /h kadar kapasiteye sahip potalı tip çöp yakma fırını ,aynı işi gören hat tipi çöp yakma fırınına göre daha verimli çalışır. Hat tipi çöp yakma fırınları ,daha yüksek çalışma kapasitelerinde potalı tiplere göre daha verimlidir. Hat tipi çöp yakma fırınlarının en iyi çalışma şartları , 450 kg / h ' den daha fazla kapasitelerde gerçekleşmektedir[6].

350 kg / h ile 450 kg / h çalışma kapasitesine sahip her iki tip çöp yakma fırınında verim çok farklı değildir. Bu kapasiteler arasında çalışma durumunda, fırın seçimi için yer , çöpün yapısı ve yükleme koşulları göz önünde bulundurulur yapıılır.

Her iki tip çöp yakma fırınında ,farklı çalışmaya sebep olan faktörler şunlardır ;

a - Partikül tipine bağlı olarak yapılan boyutsal sınırlandırmalar içersinde uygun gaz hızlarını ayarlamak için, alev kanalı ve karışım odasının ayarlanması

b - Alev kanalı üzerinde ve karışım odasında uygun alev dağılımını sağlamak

c - Alevin , karışım odasından yanma odasına geçişini sağlamak

Potalı çöp yakma fırınlarında yön değişikliği sağlayarak gazın karışması ve türbülansın artması sağlanır. 450 kg / h ' in üzerindeki kapasitelerde pota boyutları karışım odasındaki efektif türbülansı düşürmekte , akış kesiti boyunca boyutların artmasına sebep olmakta ve bunun sonucunda da alev yetersiz bir şekilde dağılım göstermektedir.

Hat tipi çöp yakma fırınlarında kapasite arttıkça yapısal ve performans avantajları ortaya çıkmaktadır. Küçük hat tipi fırınlardaki kusurlar birimlerdeki boyutların artırılması ile ortadan kaldırılabilir. Örneğin 340 kg /h ' den daha az kapasiteye sahip fırınlarda ateşleme odasındaki ızgara uzunluğunun kısa olması alevin bu bölgede enine yayılmasını engeller.

340 kg / h ve daha yukarısı kapasitelerde hat tipi fırınlardaki ızgaralar , ateşleme odasının tamamında yanma meydana gelecek kadar yeteri uzunluğa sahiptirler. Bunun sonucunda alev kanalında ve karışım odasında uygun alev dağılımı sağlanır.

4.14 Çöp Yakma Fırınlarının İşletimi

Çok odalı çöp yakma fırınlarında verimli yanma ve kirlenici elementleri azaltmanın yolu iyi bir dizayn yapmakla başlar.

İyi bir şekilde dizayn edilmiş fırının en önemli karakteristiği gaz emisyonlarının kontrol altında bulunmasıdır. Duman ve katı maddelerin uzaklaştırılması tamamıyla operatörün çalışma tarzına bağlıdır. Düşük ısıtma değerine veya yüksek nem içeriğine sahip çöplerin dumanları , uygun yanma havası kullanılarak kontrol edilir ve verimli bir ikinci yanma odası için yakıcılar kullanılır. Odaların düzenli olarak çalışması, gaz fazı yanması için gerekli sıcaklık ile parlak alev dağılımına bağlıdır. İkinci yakıcıların kullanılmasının sebebi, ateşleme odasındaki alev dağılımını ve alev kanalı ile ara duvar kanalı arasındaki alev uzantısını gözleyerek tespit etmektir. Çöp fırınlarının işletiminde en önemli durum çöpün ateşleme odasına yüklenmesidir. Uygun yükleme ,alevin çöp yığınının ve alev kanalını kaplamasını sağlayarak kül emisyonlarının azaltılmasını sağlar. Bunun yanında , özellikle büyük fırınlarda ateşleme odasının arka tarafında, yanan miktarın azalmasını önler.

Bir çöp yakma fırını çalıştırmadan önce ızgara ve küllük altları temizlenmelidir. Küllüklerin dolmasıyla ızgaralar erir, bükülür ve altlık üzerine çöker.

İkinci yakıcı veya yakıcılar , ikinci odanın ön ısıtılması için fırın doldurulmadan birkaç dakika önce ateşlenir. Yükleme ve temizleme kapıları kapalı kalmalı ve ön ısıtma periyodu boyunca hava kanalları açık kalmalıdır. Eğer, ikinci yakıcı alevi karışım odasında aşağı doğru yerine, ateşlemede yukarı ve alev kanalında arkaya doğru yönlendirilirse, ters çekiş oluşur. Bu durumda yakıcı kapatılır.Yanma odasına doğru temizleme kapısından bir parça kağıt yakılarak bu problem oldukça basit bir şekilde çözülür. Bundan sonra temizleme kapağı kapatılır ve ikinci yakıcı yeniden ateşlenir. Yanma odasındaki yanan kağıt, hava hareketlerini bacaya doğru yönelterek yeterli ısıyı ve yakıcıların düzenli olarak çalışmasının sağlar.

Çöpün, ateşleme odasında ilk yüksekliği , ızgara ile ark arasındaki uzaklığın 1/2 - 3/4 oranı kadar olmalıdır.Burada dikkat edilmesi gereken husus, çöp yığınının üst kısmının alev kanalının altında tutmaktır. İlk yükleme üstten ateşlenmelidir ve yükleme kapısı kapatılmalıdır.

Ateşleme odasındaki ilk yakıcı , çöpler çok nemli ise kullanılır. Bu yakıcı kullanılacaksa , çöp yığını ilk yakıcıyı tıkamayacak şekilde önlem alınmalıdır. Üst ve alt hava kanalları fırın sönmük durumunda iken yarı açık pozisyonda tutulur. Fırın gerekli yanma kapasitesine geldiğinde bu kanallar yavaş yavaş açılır.

İlk yüklenen çöp yığınının yaklaşık olarak yarısı yandıktan sonra , eğer gerekiyorsa geriye kalan kısım ateşlenir. Yanan çöpler bu durumda, mümkün olduğu kadar ızgaranın arkasına doğru itilir. Bu operasyon kül emisyonunun artmasını önlemek için çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Yanan çöp kütlelerinin üzerine yükleme asla yapılmamalıdır. Bu metod ateşin sönmesini engeller , alevin ateşleme odasında tamamıyla yayılmasını sağlayarak alev bölgesine geçmesine izin verir ve karışım odasında iyi bir karışım ortamının doğmasını sağlar. Alev yeni yüklenen maddeler üzerine tamamıyla yayılır ve muhtemel duman emisyonlarını azaltır. Aynı zamanda , bu yükleme metodu, yanan kümenin ateşlenmesini veya altüst edilmesini azaltarak daha az külün ortaya çıkmasını sağlar. Bütün çöpler fırına yüklendiğinde tam yanma başlar. Son yüklemede hava kanalları yarıya yakın bir şekilde kapatılarak , fırının yarı açık bir pozisyonda çalışması sağlanır. Izgara üzerinde arta kalan duman duruncaya kadar ikinci yakıcı çalıştırılmaz . Bu durumda bütün yakıcılar kapatılır.

Odun ve tahta talaşı diğer çöpler göre daha yüksek sıcaklıkta yanmasına rağmen aynı çalışma şartları bunlar içinde geçerlidir. Bu tip çöplerde yardımcı yakıcılara gerek yoktur. Tahta talaşı diğer çöplerle birlikte % 10 - % 15 ağırlık oranında diğer çöplerle yüklenebilir.

Kağıt ve odun yakan çöp yakma fırınlarında çalışma esnasında ızgaranın arka tarafında kalan yığının çok ince kalmamasına dikkat edilmelidir. Bu olay gerçekleşirse , bu noktadaki alt hava , alev kanalından giren sıcak gazları söndürür. ve fazla dumandan dolayı eksik yanma oluşur. İkinci yakıcılar kullanılarak eksik yanma önlenir.

Yükleme kapısı veya küllük kapısındaki duman emisyonları fazla yüklemekten meydana gelir. Aşağıdaki adımlar bu durumda izlenmesi gereken yolu gösterir.

- 1- İlk yakıcı çalışıyorsa , kapatılır
- 2- Yanan küme gözlenir ve alev kanalını kapatan maddeler uzaklaştırılır.
- 3- Fırın ikinci yanma odasının temizleme kapağı veya kapakları kapatılmalı , aynı durum bu kapılardaki hava kanalları için söz konusudur.
- 4- Yanan kümenin normal çalışma derinliğinde yanmasına izin verilir ve yükleme oranı azaltılır

Fırın bacasından çıkan beyaz duman çok fazla hava kullanılmasının sonucudur. Beyaz duman duruncaya kadar yapılması gereken işlemler şunlardır.

- 1- İkinci yakıcı ateşlenir veya çalışan sistem kontrol edilir.

2- İkinci hava kanalı veya kanalları kapatılır.

3- Alt hava kanalı kapatılır.

4- Üst hava kanalı açıklığı azaltılır

5- İkinci yakıcıların hepsi kullanılmıyorsa , tam kapasiteye varıncaya kadar yakıcı çalışma oranları yavaş yavaş artırılır.

6- Bütün bu çalışmalar sonucunda beyaz duman durmuyorsa , yüklenen maddeleri incelemek gerekir. Büyük bir olasılıkla beyaz duman , bacada taşınan maddelerin kolayca bölünmesinin sonucudur. Pigment , metal oksit veya kalsiyum klorid gibi mineral içeren kağıt torbalar beyaz dumana yol açar.

Siyah duman ise , genellikle yetersiz yanma havası veya fırın kapasitesinin çok üzerinde yanma oranı kullanılması sonucu ortaya çıkar. Siyah duman yayılması duruncaya kadar yapılması gereken işlemleride şöyle sıralayabiliriz.

1- İlk yakıcı veya yakıcılar çalışıyorsa , kapatılır.

2- İkinci hava kanalı veya kanalları açılır.

3- Üst hava kanalı açılır.

4- İkinci yanma odası yakıcısı ateşlenir veya çalışan sistem kontrol edilir.

5- Siyah duman devam ediyorsa , yükleme kapasitesi yaklaşık olarak dörtte bir oranında aralanır.

6- Bütün bu çalışmalar sonucunda siyah duman yok edilemiyorsa , yüklenen maddeleri incelemek gerekir. Lastik , plastik gibi yüksek uçuculuğa sahip maddeler , az uçuculuğa sahip büyük oranda çöplerle karıştırılarak yüklenir.

4.15 Yapı Özellikleri

4.15.1 Refraktör Duvarları , Kaplama (Astar) ve İzolasyon

Çok odalı çöp yakma fırınlarında , duvar iç kaplamasında kullanılan refraktör malzemelerinin özelliklerini şöyle özetleyebiliriz [6] ;

1-) 1. ve 2. tip çöp yakan fırınlarda ,

a-) Ateş tuğlası : Yüksek dayanıma sahip olmalı

b-) Dökme refraktör

2-) Ağaç , tahta talaşı gibi çöp yakan fırınlarda ,

a-) Ateş tuğlası : Çok yüksek dayanıma sahip olmalı

b-) Plastik refraktör

Her çeşit çöp yakan fırınlarda , fırın dış duvar minimum refraktör kalınlığı ;

1-) 160 kg / h kapasiteye kadar : 101.6 mm dökme veya plastik refraktör ,
114.3 mm ateş tuğlası

2-) 160 kg / h 'in üzerindeki kapasitelerde:Bütün refraktörler 228 mm kalınlıkta Baca minimum 1,090 °C' ye kadar dayanıklı refraktör malzemesiyle kaplanmalıdır.Refraktör kalınlığı :

1-) 160 kg / h kapasiteye kadar , 63.5 mm

2-) 160 kg / h kapasitenin üzerinde ,114.3 mm

olmalıdır.

Kapılar minimum 1540 °C 'ye kadar dayanıklı refraktör malzemesiyle kaplanmalıdır.Refraktör kalınlığı :

1-) 45 kg / h ' den ufak ünitelerde , 50.8 mm

2-) 45 - 160 kg / h kapasiteler arası ,76.2 mm

3-) 160 - 450 kg / h kapasiteler arası ,101.6 mm

4-) 450 kg / h ' den büyük kapasitelerde , 152.4 mm

olmalıdır[6] .

Fırın zeminindeki izolasyon ve refraktör kaplama kalınlığı fiziksel yerleşime bağlıdır. Bina dışına ,beton temel üzerine yerleştirilmiş fırınlarda minimum 1090 °C kadar dayanıklı izolasyon malzemesi ve 63.5 mm ateş tuğlası kullanılmalıdır. Fırın bina içine yerleştirilmiş ise, binanın duvar ve zeminine zarar vermeyecek şekilde önlem alınmalıdır.Fazla ısıdan binayı korumak için fırın altına ve bina duvarlarına hava bolukları açmak gerekir. Fırın altına hava boşluğu açmak zor ise, ilave bir izolasyon yapılmalıdır. Karışım ve son yanma odası zemini minimum izolasyon ve refraktör kalınlıkları:

1-) 225 kg / h kapasiteye kadar , 114.3 mm ateş tuğlası , 63.5 mm izolasyon malzemesi

2-) 225 - 900 kg / h kapasiteler arası 114.3 mm ateş tuğlası , 101.6 mm izolasyon malzemesi kullanmak gerekir.

Çok yüksek sıcaklıklarda çalışan fırınlarda , iç refraktör ile dış çelik yüzey arasındaki hava boşluğu 76.2 - 101.6 mm arasında olmalıdır. Bu , refraktör sıcaklığını düşürdüğü gibi ömrünü de uzatır.

Fırın içersindeki bölümleri ayıran iç duvarlardaki refraktör kalınlığı , fırın dış duvarlarına eşit alınır. Yalnızca ikinci hava kanalları ve tuğla duvarlarının kaplaması diğerlerine göre biraz daha kalın alınabilir.

4.15.2 Genleşme Bağlantıları

Refraktör malzemeden oluşan konstrüksiyonlarda ,uygun genleşme elemanları , erimeyi ve duvarda oluşacak deformasyonu engellemesi için gereklidir. Ateşe dayanıklı kilden yapılmış duvar genişlemeli ve ısınma ile soğumada 1.6 - 2.4 mm arasında büzülebilmelidir[6]. Silisli tuğlalar , ateşe dayanıklı tuğlalara göre iki misli daha genişler. Dikey genleşme elemanlarının hazırlanması için , dikey harekete izin veren yan duvarlar ile ark birbirine uygun olmalıdır. Yatay genleşme elemanları, diğer dikey duvarlarla dengelenmiş olmalıdır.

4.15.3 Çelik Özellikleri

225 kg / h kapasiteye kadar çöp yakan fırınlarda , fırın dış duvarlarında kullanılan çelik levhalarının minimum kalınlığı 2.58 mm olmalıdır. Bu kapasitenin üzerinde minimum 4.8 mm 'lik çelik levhalar kullanılmalıdır[6].

Bacaların dış yüzeyi minimum 2.58 mm çelikten inşa edilmelidir.Çapı 1 m olan bacalarda 4.8 mm , daha büyük çaplı bacalarda ise minimum 6.3 mm çelik döküm kullanmak gerekir[6].

4.15.4 Izgara ve Ocaklar

1. ve 2. tip çöp yakan çöp yakma fırınlarında dökme demirden T profil veya kanal kesitli yapılabilir.Fırınlarda ölçü ve kapasitenin artışı ile yanma odasının uzunluğu artar. Bu da kapasitesi 350 kg / h aşan fırınlarda problem oluşturur.Çünkü , tamamen dolmuş ızgaranın geri planını beslemek oldukça zordur.

Ocaklar , sıcak gazlar , küller ve yanmamış maddelerden oluşan fazla alt havanın , geçiş bölgesindeki duvarların önünde girişini engeller.Izgaraların yerleşimi , ön kısmı aşağıdan arkaya doğru açı oluşacak şekilde yapılmalıdır.

4.15.5 Yanma Havası Girişi

Tüm yanma havası girişleri , pozitif kontrolü sağlayacak şekilde olmalıdır. Döner klapeli dairesel tip kontrollere , genelde alt ve üst havanın giriş yaptığı potalı tip fırınlarda kullanılırlar.Hat tipi yakıcılarda ise , bu kontrollere yalnızca alt havanın giriş yaptığı kanallarda kullanılır.Prizmatik veya menteşeli klapeleler , tüm ikincil hava girişi ve üst hava girişinin bulunduğu hat tipi fırınlarda kullanılır. Tüm hava giriş kontrolleri dökme demirden yapılırlar.

4.15.6 Temeller

Bütün çöp yakma fırınlarında temeller , fırının ağırlığına ve yapının konumuna göre belirlenmelidir.Prefabrik ve taşınabilir ünitelerde , yeterli hava boşluğu ve zemin kırılmasını önlenmesi gerekli temel ile sağlanabilir. Yekpare olarak imal edilmiş fırınlarda , gerekli hava boşluğu veya izolasyon için uygun alan sağlanmalıdır.

4.15.7 Destekler

Prefabrik çöp yakma fırınları , en azından 3 sağlam destekle zemine bağlanmalıdır.Buradaki amaç , yüklü duvarların bulunduğu üniteleri desteklemek ve güvenli bir şekilde hareketine izin vermektir. Uygun bir destek de fırın üzerine yerleştirilen baca için yapılmalıdır. Baca destekleri yükü , çelik dış duvarların destekleri tarafından taşınır.

4.16 Kağıt Yakan Çok Odalı Çöp Yakma Fırını Dizayn Örneği

% 10.2 neme sahip 500 kg /h kapasiteli kağıt yakan çok odalı çöp yakma fırını dizaynı :

1-) Çöpün Yakılması

m_{KK} = Kuru Kağıt Kütlesi , (kg / h)

m_N = Nem miktarı , (kg / h)

$$m_{KK} = 500 \text{ kg / h} \cdot 0.898$$

$$m_N = 500 \text{ kg / h} \cdot 0.102$$

$$m_{KK} = 449 \text{ kg / h}$$

$$m_N = 51 \text{ kg / h}$$

2-) Toplam Yanma Isısı

Tablo 4.1 'den kuru kağıt için toplam ısı değer $\Delta h = 17,654 \text{ kJ / kg}$

$$Q_T = m_{KK} \cdot \Delta h$$

$Q_T = \text{Toplam ısı , (kJ / h)}$

$$Q_T = 449 \text{ kg / h} \cdot 17,654 \text{ kJ / kg} \Rightarrow Q_T = 7,926,646 \text{ kJ / h}$$

3-) Tablo 4.1'e göre 1 kg kağıdı kuramsal olarak yakabilmek için 4.22 Nm^3 havaya ihtiyaç vardır. Yanma sonrası bu hava içerisinde $0.735 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2\text{O}$ vardır ve bunun ağırlığı 0.560 kg dır. Fırın yüzeylerinden meydana gelen ısı kaybı , ışıınım ve diğer kayıplar dahil olmak üzere %20 olarak kabul edilirse ,

$$Q_1 = 0.20 \cdot Q_T$$

$Q_1 = \text{Isı Kayıpları , (kJ / h)}$ (Işıınım , Konveksiyon , Kondüksiyon ve Sızıntı Kayıpları)

$$Q_1 = 0.20 \cdot 7,926,646 \text{ kJ / h} \Rightarrow Q_1 = 1,585,329.2 \text{ kJ / h}$$

Nemin buharlaşması;

$$Q_2 = m_N \cdot h_{sb}$$

$Q_2 = \text{Nemin buharlaşması için gerekli ısı , (kJ / h)}$

$h_{sb} = 2466 \text{ kJ / kg}$ ($15 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de suyun buharlaşma gizli ısısı)

$$Q_2 = 51 \text{ kg / h} \cdot 2466 \text{ kJ / kg} = 125,766 \text{ kJ / h}$$

Yanma sonrası oluşan suyun buharlaşması için gerekli ısı ;

$$Q_3 = G_{(\text{H}_2\text{O})} \cdot m_N \cdot h_{sb}$$

$Q_3 = \text{Yanma sonrası oluşan suyun buharlaşması için gerekli ısı , (kJ / h)}$

$G_{(\text{H}_2\text{O})} = \text{Duman gazındaki kütleli olarak su miktarı , (kg / kg K.K)}$

$$Q_3 = 0.56 \text{ kg / kg K. Kağıt} \cdot 449 \text{ kg / h} \cdot 2466 \text{ kJ / kg}$$

$$Q_3 = 620,051.04 \text{ kJ / h}$$

Toplam ısı kaybı ;

$$Q' = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$Q' = \text{Toplam ısı kaybı , (kJ / h)}$

$$Q' = 1,585,329.2 + 125,766 + 620,051.04$$

$$Q' = 2,331,146.24 \text{ kJ / kg}$$

4-) Net Isı

$$Q = Q_T - Q'$$

$$Q = \text{Net ısı} , (\text{kJ} / \text{h})$$

$$Q = 7,926,646 - 2,331,146.24$$

$$Q = 5,595,499.76 \text{ kJ} / \text{h}$$

5-) % 300 Hava Fazlası İle Yanma Ürünleri Ağırlığı

Tablo 4.1 ' de % 300 hava fazlası ile 1 kg kağıt yandığında 17.688 Nm³ duman gazı çıkmakta ve bu duman gazının ağırlığı 21.7 kg 'dır.

$$m_{(300)} = 21.7 \text{ kg} / \text{kg K.K} . 449 \text{ kg} / \text{h}$$

$$m_{(300)} = \% 300 \text{ hava fazlası ile yanma sonrası} , \text{ yanma ürünlerinin ağırlığı} , (\text{kg} / \text{h})$$

$$m_{(300)} = 9,743.3 \text{ kg} / \text{h}$$

$$m_T = m_{(300)} + m_N$$

$$m_T = \text{Yanma sonrası toplam yanma ürünleri ağırlığı} , (\text{kg} / \text{h})$$

$$m_T = 9,743.3 + 51$$

$$m_T = 9,794.3 \text{ kg} / \text{h}$$

6-) Ortalama Gaz Sıcaklığı

$$Q = m_T \cdot c_p \cdot (t_1 - t_u)$$

$$c_p = \text{Yanma ürünlerinin} , \text{ sabit basınçtaki özgül ısısı} , 1.088 \text{ kJ} / \text{kg}^\circ\text{C}$$

$$t_u = \text{Çevre sıcaklığı} , 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \text{Ortalama gaz sıcaklığı} , \text{ }^\circ\text{C}$$

$$5,595,499.76 = 9,794.3 \times 1.088 \times (t_1 - 15)$$

$$t_1 = 540 \text{ }^\circ\text{C}$$

7-) Yanma Havası Miktarı

Çöpün tam olarak yanması için kuramsal havaya en az % 100 ilave yapılır. 1 kg kuramsal olarak yanması için gereken hava miktarı 4.25 Nm³ 'dür. (15 °C , % 40)

$$\dot{m}_h = 2 \cdot m_{\text{KK}} \cdot L_{\text{min}} \cdot \left\{ \left[\frac{(t_u + t_1)}{2} + 273 \right] / 273 \right\}$$

$$\dot{m}_h = \text{Hacimsel olarak yanma havası miktarı} , (\text{m}^3 / \text{h})$$

$$\dot{m}_h = 2 \cdot 449 \text{ kg} / \text{h} \cdot 4.25 \text{ Nm}^3 / \text{kg KK} \cdot \left\{ \left[\frac{(15 + 540)}{2} + 273 \right] / 273 \right\}$$

$$\dot{m}_h = 7,695.9 \text{ m}^3 / \text{h}$$

8-) Hava Kanalları Hesabı

Hava Kanallarındaki dinamik basınç 2.54 mmSS olması istenir. Bu değerde 6.4 m / s ' lik hıza eşdeğerdir.

$$\dot{m}_h = A_T \cdot v$$

$$A_T = \text{Toplam kanal alanı} , (\text{m}^2)$$

$$v = 6.4 \text{ m / s}$$

$$7,695.9 \text{ m}^3 / \text{s} = A_T \cdot 6.4 \text{ m / s} \cdot 3,600$$

$$A_T = 0.334 \text{ m}^2$$

Tablo 4.2 ' den yanma havası dağılımı ;

$$\text{Üst hava kanalı} : \% 70 A_T : 0.70 \times 0.334 : 0.234 \text{ m}^2$$

$$\text{Alt hava kanalı} : \% 10 A_T : 0.10 \times 0.334 : 0.0334 \text{ m}^2$$

$$\text{İkinci hava kanalı} : \% 20 A_T : 0.20 \times 0.334 : 0.067 \text{ m}^2$$

9-) Hacimsel Olarak Yanma Ürünleri Miktarı

$$\dot{m}_{(300)} = 17.688 \text{ Nm}^3 / \text{kg KK} \cdot 449 \text{ kg / h} \{ [(15 + 540) / 2 + 273] / 273 \}$$

$$\dot{m}_{(300)} = 16,014.73 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\dot{m}_N = m_N \cdot v''$$

$$\dot{m}_N = 51 \text{ kg / h} \cdot 1.67 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$\dot{m}_N = 85.17 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\dot{m}_{TYS} = \dot{m}_N + \dot{m}_{(300)}$$

$$\dot{m}_{TYS} = \text{Yanma sonrası toplam yanma ürünleri miktarı , (m}^3 / \text{h)}$$

$$\dot{m}_{TYS} = 16,014.73 + 85.17$$

$$\dot{m}_{TYS} = 17,000 \text{ m}^3 / \text{h}$$

10-) Alev Kanalından Geçen Yanma Ürünlerinin Miktarı

$$\dot{m}_{FP} = \dot{m}_{TYS} - 0.2 \dot{m}_h$$

$$\dot{m}_{FP} = \text{Alev kanalından geçen yanma ürünü miktarı , (m}^3 / \text{h)}$$

$$\dot{m}_{FP} = 17,000 - 0.2 \times 7,695.9$$

$$\dot{m}_{FP} = 15,460.82 \text{ (m}^3 / \text{h)}$$

11-) Alev Kanalı Alanı

$$\text{Tablo 4.2 ' de } 540 \text{ }^\circ\text{C için } v_{FP} = 16.5 \text{ m / s}$$

$$\dot{m}_{FP} = A_{FP} \cdot v_{FP}$$

$$A_{FP} = \text{Alev kanalı alanı , (m}^2)$$

$$15,460.82 / 3,600 \text{ m}^3 / \text{s} = A_{FP} \cdot 16.5 \text{ m / s}$$

$$A_{FP} = 0.26 \text{ m}^2$$

12-) Karışım Odası Alanı

$$\text{Tablo 4.2 ' de } 540 \text{ }^\circ\text{C için } v_{MC} = 7.5 \text{ m / s}$$

$$\dot{m}_{TYS} = A_{MC} \cdot v_{MC}$$

$$A_{MC} = \text{Karışım odası alanı , (m}^2)$$

$$17,000 / 3,600 \text{ m}^3 / \text{s} = A_{MC} \cdot 7.5 \text{ m / s}$$

$$A_{MC} = 0.63 \text{ m}^2$$

13-) Ara Duvar Kanalı Alanı

$$\text{Tablo 4.2 'de } 510 \text{ }^\circ\text{C için } v_{CMP} = 0.7 \cdot v_{MC} \Rightarrow v_{CMP} = 0.7 \times 7.5 = 5.25 \text{ m / s}$$

$$\dot{m}_{TYS} = A_{CMP} \cdot v_{CMP}$$

$$A_{CMP} = \text{Ara duvar kanalı alanı , (m}^2 \text{)}$$

$$17,000 / 3,600 \text{ m}^3 / \text{s} = A_{CMP} \cdot 5.25 \text{ m / s}$$

$$A_{CMP} = 0.9 \text{ m}^2$$

14-) Yanma Odası Alanı

$$\text{Tablo 4.2 'de } 480 \text{ }^\circ\text{C için } v_{CC} = 1.5 - 1.8 \text{ m / s} \Rightarrow v_{CC} = 1.5 \text{ m / s}$$

$$\dot{m}_{TYS} = A_{CC} \cdot v_{CC}$$

$$A_{CC} = \text{Yanma odası alanı , (m}^2 \text{)}$$

$$17,000 / 3,600 \text{ m}^3 / \text{s} = A_{CC} \cdot 1.5 \text{ m / s}$$

$$A_{CC} = 3.15 \text{ m}^2$$

15-) Baca Alanı

$$\text{Tablo 4.2 'de } v_s \leq 9 \text{ m / s} \quad v_s = 7.5 \text{ m / s (Kabul)}$$

$$\dot{m}_{TYS} = A_s \cdot v_s$$

$$A_s = \text{Baca alanı , (m}^2 \text{)}$$

$$17,000 / 3,600 \text{ m}^3 / \text{s} = A_s \cdot 7.5 \text{ m / s}$$

$$A_s = 0.63 \text{ m}^2$$

16-) Izgara Alanı

Şekil 4.4 'den çöp yüküne bağlı olarak , ızgara yükü $L_G = 145 \text{ kg / m}^2 \text{ h}$

$$A_G = R_C / L_G$$

$$A_G = \text{Izgara alanı , (m}^2 \text{)}$$

$$A_G = 500 / 145 = 3.45 \text{ m}^2$$

17-) Ark Yüksekliği

Şekil 4.3 'den 3.45 m^2 ızgara alanı için , $H_A = 1.6 \text{ m}$ bulunur.

5. EVSEL ATIKLARIN YAKILMASI

Evsel çöpler , karakter ve özellik bakımından hızla gelişmektedir. Genel olarak, yaşam standartlarının artması , yanabilir kapların yiyeceklerin saklanması ve paketlenmesinde kullanılabilir olması , çöpün daha geniş hacimlere ve daha yanabilir hale gelmesini sağlamaktadır. Kağıt torbalar , plastik kaplar ve ambalaj gibi kuru yanabilir maddeleri miktarının artması , mutfak artıkları ve benzeri çok neme sahip etkenlerin azalmasına yol açmaktadır.

Son yıllarda , çöpün ısıl değeri hızla artmıştır. Böylece , yanma havası ve gazlarının özellikleri , fırın boyutları benzer şekilde büyümüştür. Çelik tesislerindeki ve kağıt öğütücülerdeki modern teknikler , metallerin ve çöplerdeki kağıtların kurtarılmasını sağlamıştır. Çöpte çok sık rastlanan şişe , konserve gibi yanmayan maddeler atıkların büyük bölümünü oluşturur. Aynı zamanda , bu maddeler sıcak fırında metal oksidasyonlarına yol açar.

5.1 ÇÖP YAKMA FIRINI DİZAYNI

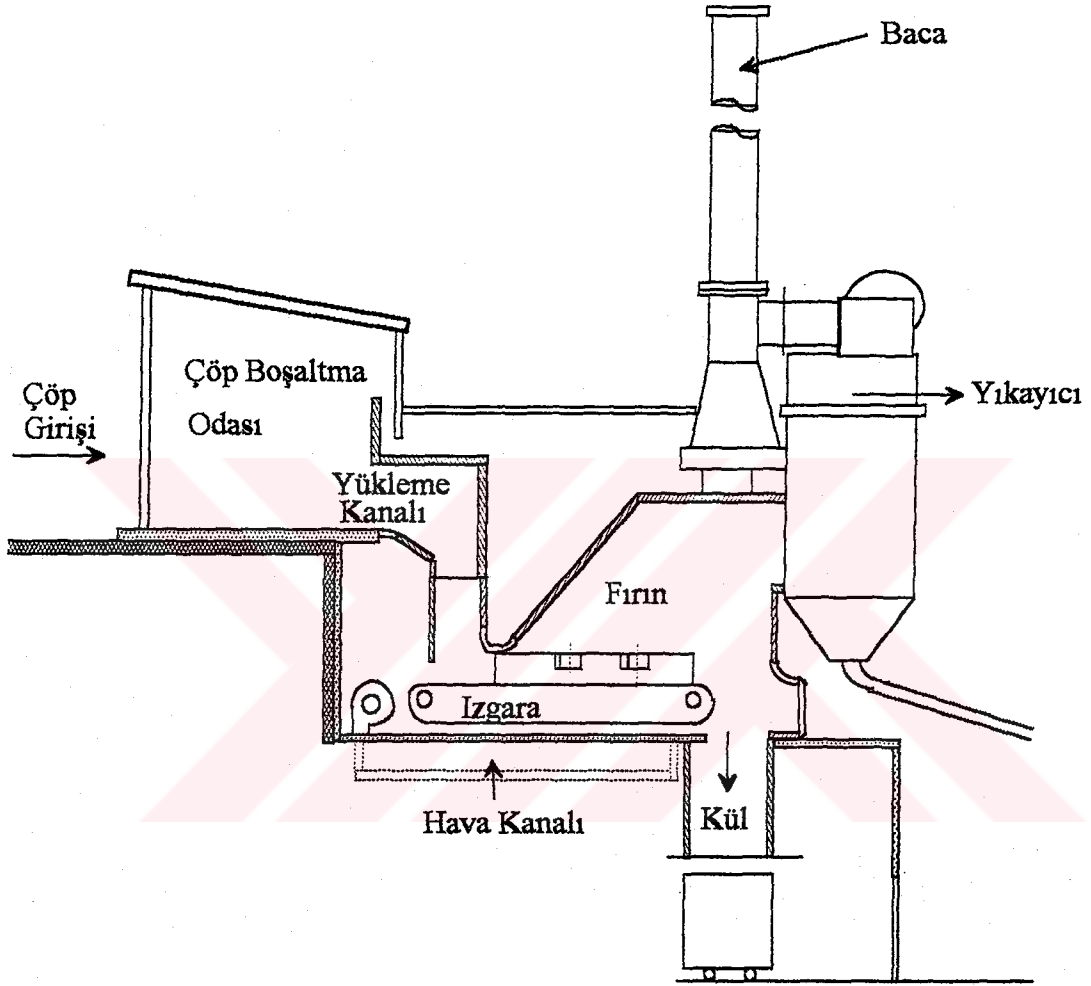
5.1.1 Çöp Yakma Fırınının Yerleşimi

Modern çöp yakma fırını ufak ve çekici bir dış yüzeye ve kısa bacaya sahip olmalıdır. Tesis mümkün olduğunca yükleme merkezine yakın seçilmelidir. Tercihen endüstriyel bölgelere veya çöp boşaltım merkezlerine yakın bir şekilde kurulmalıdır. Yamaç kenarına tesisi kurmak avantajlıdır. Şekil 5.1' de tipik bir yamaca yerleştirilmiş çöp yakma fırını tesisi görülmektedir.

Ayrıca yakma sistemi kanalisasyon sistemine yakın bir şekilde kurularak fırındaki sıcak gazları kullanarak lağım atıklarının kurutulması ve sterilize edilmesi sağlanır.

5.1.2 Toplanan Çöp İçin Gerekli Donanımlar

Çöpler , çöp yakma tesisine geldikten sonra dağıtılıp fırına yüklenilinceye kadar geçen zaman arasında depolanması için bir ön hazırlık geçirir. Depolama kapları



Şekil 5.1 Yamaca Yerleştirilmiş Çöp Yakma Fırını Tesisi

gereken değerden büyük olarak yapılmalı ve çöpler kabın veya haznenin dışına taşma-
malıdır. Duruş açısına bağlı olarak çöpler sıkıştırıldıklarında birbirine karışır ve yapışır.
Bunun sonucu olarak , kök p yakma fırınları , fırın üzerindeki alana çöpün , p
kamyonları tarafından boşaltılmasına izin verecek şekilde dizayn edilirler. Bu olay,
şekil 5.1'de daha iyi görülmektedir. Bu düzenleme daha kk depolama alanı sağlar.

5.1.2.1 Depolama Kapları

Yeterli depo alanı mevcut değilse , birçok problemlerle karşılaşılır. Örneğin,
Çöpler rüzgar tarafından dağılabilir , zararlı hayvan miktarının artmasına yol açar ve en
nemlisi günlük p yakma miktarını etkiler. Fırınlar maksimum yükleme için yeterli
büyüklükte değilse çöpler tam yanmadan dışarı alınabilir veya istenmeyen bir atık
oluşur. Tüm bu olumsuzlukları önlemek için sisteme depolama kapları yerleştirilir.
Maksimum yük dağıtılarak ortalama saatlik yükleme miktarı azaltılarak , fırın boyutları
belirlenir. Depodan pn taşınması için özelikle düşük hacimli yığınlar için dizayn
edilmiş cihazlardan yararlanılır. Depo kapasitesi ve ekipmanlar bu düşük hacimli yığın-
lardan büyük olmalıdır.

5.1.2.2 Vinçler

p tutmada çok yaygın bir şekilde kullanılan ekipmanlardan, biri çift çeneli
kova (kancalı) veya monoraylı vinçlerdir. Bu düzenle, p kaplardan çeşitli şekillerde
alınarak diğer karışım bölümlerine taşınması sağlanır. Köprü vinçler daha pahalı
olmasına rağmen çok yönlü olarak kullanılmaktadır. Köprülü vinçlerde , kaplar isteni-
len genişlikte olmasına rağmen pratik sebeplerden dolayı 9 m ' den büyük olması isten-
mez.

Monoraylı kreynler genellikle tek yönde hareket ederler. İlk yatırımı oldukça
düşüktür. Fakat , yükleme oranları ve özelikle depolama kap genişlikleri sınırlıdır.
Kaplara çok geniş tutulursa , kovalar p yığma alanına ulaşamaz. Pratik olarak kap
genişlikleri kova genişliğinden 0.6 - 1 m daha büyüktür.

Vinç seçimi tesis düzenine bağlı olarak yapılmalıdır.

5.1.3 Fırınlar

5.1.3.1 Kapasite ve Çalışma Periyodları

Özel çöp yakma fırını kapasiteleri yaklaşık olarak 55 - 635 ton / gün olarak değişir . Şekil 5.2 'den Şekil 5.4 ' e kadar yabancı ülkelerde kurulmuş olan özel çöp yakma fırını tesisleri görülmektedir.

Kapasite, genellikle günlük yakılan çöp miktarı olarak belirlenir. Yani saatlik oranlara bölünür. Örneğin günlük çalışma kapasitesi 270 ton olan bir fırın 8 saatte 90 ton ve 16 saate 180 ton çöp yakar. Böylece çalışma saatleri belirlenmiş olur[6].

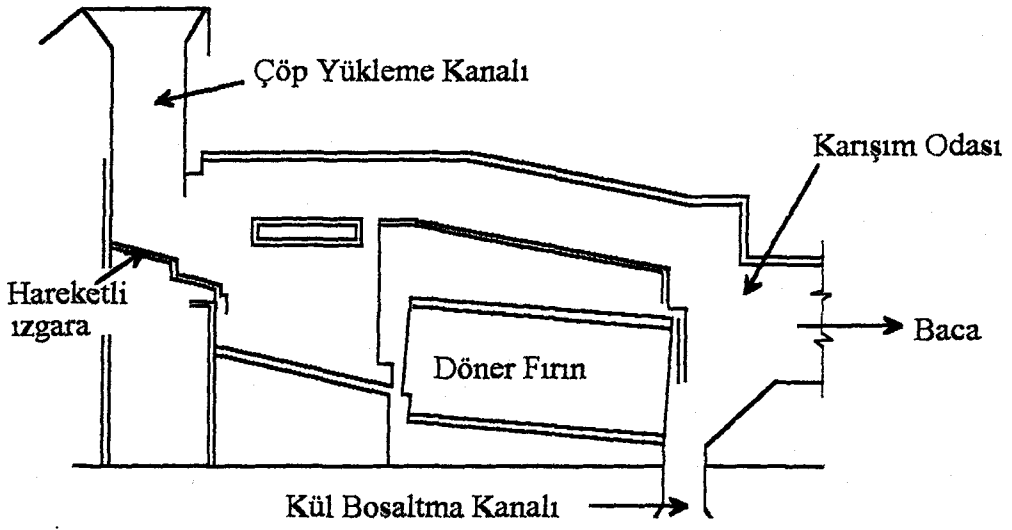
Çöp yakma fırını çalışma periyodları , fırın boyutları , işçi ve toplam masraf gibi bir çok faktörü önemli derecede etkiler. Düzgün ve devamlı olarak çalışma , yüksek verim ve optimum değerler sağlar.

5.1.3.2 Fırın Boyutları

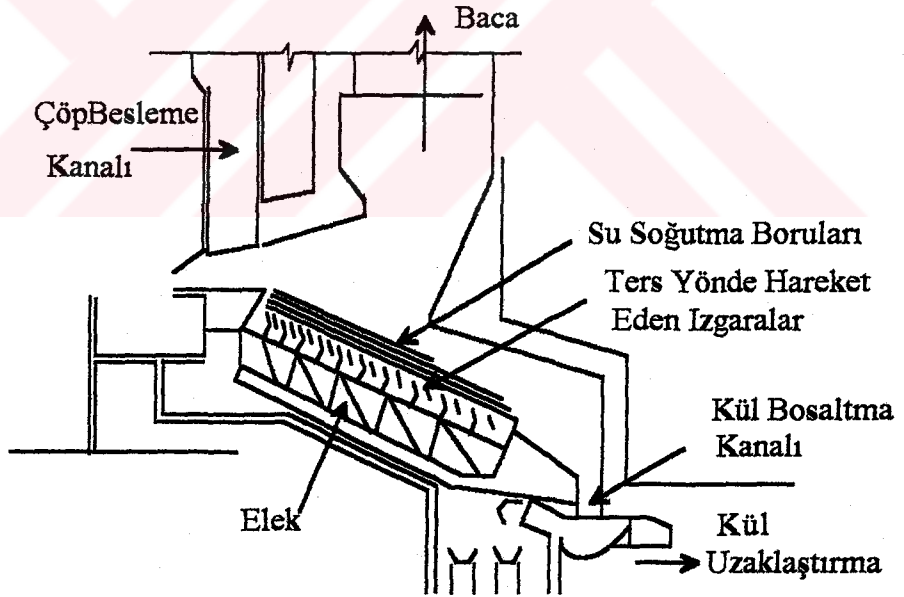
Tesis maliyetindeki önemli bir faktör, kurulan fırın sayısı ve boyutlarıdır. Eskiden özel fırınların günlük kapasiteleri çok düşük iken ,bugün teknolojilerdeki gelişmeler sayesinde kapasiteler artmış , bunun sonucu olarakta aynı miktardaki çöpü yakmak için kullanılan fırın sayısı düşmüştür.

Fırın boyutları dizayn kadar performansı da etkiler. Fırın çok küçük ise, uçucu yanabilen maddeler ara geçiş bölgesini geçene kadar yanma tamamlanamaz. Böyle bir fırında ısınma zamanı , daha geniş ünitelerden uzun olabilir. Çünkü ; İkinci yanma odasındaki geciktirilmiş yanmadan oluşan ısı fırın için bir yarar sağlamaz. Yüksek neme sahip çöp yandığında , yanma kapasitesi düşer. Nemin buharlaşması için çok fazla ısı verilmesi gerekir. Yaklaşık % 70 neme sahip çöpler otomatik olarak yanmayı durdurur. Fırın sıcaklığına ulaşabilmek için fazla miktarda yakıt kullanmak gerekir. Fazla hava kullanmadan fırın sıcaklığı yaklaşık 1000 °C civarındadır. % 50 hava kullanıldığında bu değer 880 °C ' ye kadar düşer.

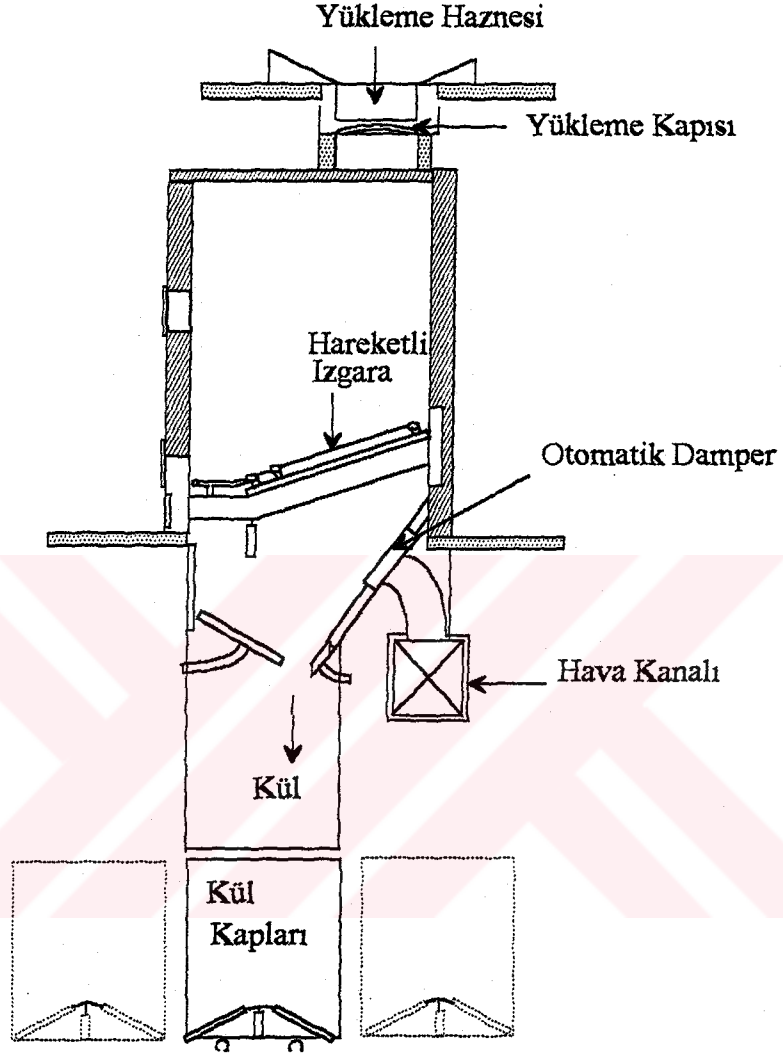
Büyük fırınlarda , yanma havasındaki aynı azalmalarla yanan çöp miktarının yarıya indiği kolayca görülebilir. Işınım sızıntı ve diğer kayıplar değişmeden kalır. Oysa ki , yanma ürünlerindeki ısı kayıpları azaltılarak önemli bir ısı balansı ve istenilen sıcaklık değeri sağlanır.



Şekil 5.2 Hareketli Izgaralı Döner Fırın



Şekil 5.3 Su Soğutmalı Hareketli Izgaralı Çöp Yakma Fırını



Şekil 5.4 Hareketli Izgaralı Prizmatik Küme Beslemeli Çöp Yakma Fırını

5.1.3.3 Fırın Düzenlemesi

Şehir çöplerinin merkezi olarak yakılmasında iki tip fırın üzerinde durulmaktadır. Bunlardan birincisi , çöpün küçük bir haznedan ateş üzerine periyodik olarak boşaltıldığı uzun kullanışlı küme beslemeli fırın , ikincisi ise çöp ızgara yüzeyi tarafından taşınan daha geniş haznelere devamlı olarak beslemenin yapıldığı devamlı beslemeli tip fırınlardır.

Genel olarak, küme beslemeli fırınlar ilk yatırım masrafı ve kapasiteleri düşüktür. Günlük 135 - 180 ton yanma kapasitesinden daha düşük tesisler için çok uygundur.

Her iki tip çöp yakma fırını , dairesel ve prizmatik ızgaralar olmak üzere iki tipe sahiptir. Her bir tip çöpün karışmasını ve daha aktif bir şekilde yanmasını sağlayacak şekilde bir ızgara sistemine sahiptir. Şekil 5.4 'de tipik bir prizmatik küme beslemeli bir çöp yakma fırını görülmektedir.

Bu iki tip fırın dizaynındaki ana farklılıklarından biri , her fırındaki yükleme kapısı sayısıdır. Bunun performans üzerinde önemli bir etkisi vardır.

Dairesel fırınlar , fırın merkezi üzerine yerleştirilmiş tek bir yükleme kapısına sahiptir. Fırın kısa aralıklarla yüklenir. Yüklenen çöpler , direkt olarak yanan yığının üzerine düşer. Koni şeklindeki çöp yığını ekseriyetle yığın üzerindeki yanma ile azar azar aşağıya doğru yanarak iner. Yanma havası , ızgaradan ana koniden ve cebri çekişli fanlar yardımıyla sağlanır. Çöp ana koni altına bağlanmış , dönebilen pota süngü ayakları vasıtasıyla yavaşça aşağıya ızgara üzerine doğru hareket eder. Geriye kalan konserve kutuları , şişe , kül ve diğer yanmayan maddeler ızgaradan periyodik olarak uzaklaştırılır. Bu ızgaralar elle veya silindirler yardımıyla kaldırılıp , indirilebilir. Izzaralar indirildiğinde küllüğe doğru artık maddeler süpürülür.

Temizleme sırasında besleme haznesi sürgülü kapısı , soğuk havanın girmesini önlemek için kapalı tutulur ve bu zaman aralığında besleme yapılmaz. Temizleme işlemi çok dikkatli yapılmadıkça fırın kapasitesi ızgara üzerindeki madde miktarına bağlı olarak düşer. Bu kayıp zamanı telefı etmek için çöp yüklemesi yeniden başlayıncaya kadar fırın normal kapasitesine bağlı olarak zorlanır. Temizleme tüm operasyonun en zor safhasıdır. Her vardiya değişikliğinde birçok kez yapılır. Bu yüzden fırınlar uygun çalışma alanı , ızgara mekanizması , büyük fırın kapasitesi sağlanarak , bu işi kolaylaştıracak şekilde yapılmalıdır.

Prizmatik tip çöp yakma fırınlarında, temizleme esnasında tek bir bölgenin etkisiz kalması için, iki veya daha fazla yükleme kapısı ve haznesi yerleştirilir. Diğer bölümler çalışmaya devam eder ve fırın sıcaklığı normale yakın tutulur. Bu yalnızca yanmanın gelişmesini sağlamaz aynı zamanda tuğla yapının pul pul dökülmesini azaltır. Fırın sıcaklığı, çöpleri kurutuncaya ve yanabilen maddelerin yakmaya başlayıncaya kadar yeterli sıcaklığa ulaşmadıkça , çöpler düzenli olarak yanmaz.

Bu tip fırınlarda , yanan çöpün , yüklemenin uçundan ızgara bölgesine taşınmasını sağlayan hareketli ızgaralar yerleştirilmiştir. Bu ızgaralar boşaltılarak arta kalan ürünler dairesel bir fırına gönderilir. Tipik bir düzende sallanır ızgara sistemi, çöpü tutmak için hazne ve kreynler , külleri tutmak için de birçok kaplar bulunur. Hazneler sürgülü kapı üzerinden direkt olarak çöple dolacak şekilde vinç kovalarına sahiptir.

Devamlı hazne beslemeli çöp yakma fırınları , hareketli ve zincir ızgara , döner fırın , sallanan veya yer değiştiren ızgara , dönen tanbur ızgara ve bu sistemlerin bileşiminden oluşmuş birçok tipe sahiptir. Bu fırınlarda çöpler, bir ızgara mekanizması tarafından devamlı bir oranda besleme haznesi üzerinden yüklenir. İlk çöp kurduğunda yüzeyde yanma başlar ve uçucu maddeler yok edilir. Yanan maddeler boşaltma kenarına gelinceye kadar yanar ve arta kalan maddeler külleğe boşaltılır.

Küme beslemeli fırınlar ile devamlı beslemeli fırınlar karşılaştırıldığında ; Yakıt hava karışımı devamlı beslemeli fırınlarda kolayca kontrol edilmesine karşın küme beslemeli fırınlarda yükleme kapısının açılıp - kapanırken az veya çok beslenmesi durumuna göre değişir. Devamlı beslemeli fırınlarda , fırın sıcaklığı daha düzgün ve işlenecek miktar daha yüksektir. Temizleme periyodundaki eksiklik işlemin devam etmesine izin verdiği gibi pul pul dökülmeyi ve cüruf oluşumunu azaltır. Bu sonuca ilaveten daha az tuğla duvar kullanılır. Buradan da açıkça görülmektedir ki; optimum performans değeri istendiğinde devamlı beslemeli çöp yakma fırınları daha avantajlıdır.

5.2 ÇÖP YAKMA FIRINLARININ İŞLETİMİ

5.2.1 Çöpleri Sınıflandırılması

Çöpler fırına atılmadan önce içersindeki konserve kutuları , şişeler , metal kaplar gibi yanmayan maddelerin ayrılması gerekir. Tekrar kullanılmayacak olan maddeler sıkıştırılıp boyutları ufaltılmalıdır.

Mutfak artıkları , sebze ve meyveler, hayvan leşleri gibi yüksek neme sahip maddeler fazla miktarda yakıt kullanılmadıkça yakmak zordur.Kağıt , karton gibi kuru büyük orandaki çöpler , ilk tepkimesinde hızla kuruyarak fırın için yeterli gaz sıcaklığını sağlarlar ve diğer ısı kaynaklarına yardımcı olurlar.Bu yüzden mutfak artıkları gibi yüksek neme sahip olan maddeler , kuru çöp yığınının üst kısmına yerleştirilir.Bu yüklemeye uygun bir karışım sağlandığı gibi kolay bir yanma gerçekleştirilir.

5.2.2 Yanma

Hareketli ızgaralı bir fırında , kapı açıldığında çöpler kısmen yanmakta olan yatağın üzerine boşaltılır. Kapı kapatılır ve hazne yeni bir yüklemeye hazır hale getirmek için yeniden doldurulur. Çöpler yanmanın tamamlandığı boşaltma bölümüne gelinceye kadar sallanan ızgara hareketleriyle aşağıya doğru yanarak iner.

Fırındaki sıcaklık her zaman çöpleri ayrıştıracak kadar yeterli sıcaklıkta ve yanan maddeler içersindeki tüm maddeleri yakabilecek kadar yüksek ateşleme sıcaklığında olmalıdır. Fırın ağzındaki gaz sıcaklığı en az 760 °C olmalı , tüm zararlı bileşimler oksitlenmeli ve karbonmonoksitler tam yanarak karbondioksit oluşturmalıdır.

5.2.3 Üst Hava

Herbir tip fırının özellikleri farklıdır fakat , genel olarak toplam havanın yarısı yanma odasındaki yanan kütlelerin üzerinden verilir. Izgaranın altından temin edilen hava kağıt gibi hafif maddelerin uçuşmasına ve taşınmasına sebep olur.Bu yüzden toz yüklü istenmeyen bir durum oluşur. Uçuşan küller yanan kütlelerin karesiyle orantılı olarak artar[6]. Ateş üzerine gönderilen hava gazların yanmasını sağlar , fazlası ise fırın sıcaklığını düşürür. Bu havadan verimli bir şekilde yararlanabilmek için cebri çekişli fanlar kullanılır. Böylece , türbülans yaratılarak gazların uygun oranda karışması sağlanır.

5.2.4 Hava Fazlası

Kuramsal veya stokiometrik hava sağlandığı sürece herhangi bir yanma prosesindeki maksimum fırın sıcaklığı kolayca sağlanabilir. Çöpte ve diğer birçok yakıtta bu

sıcaklık yaklaşık 1,650 °C civarındadır ki , bu değer küllerin erimesinden dolayı katı yakıtlar için oldukça fazladır.

Hava fazlası , tam oksidasyon için kuramsal olarak gerekenden fazla olarak yakma için temin edilen havadır. Bu değer, yıllardır fırın çıkış sıcaklığının direkt olarak kontrol edilmesiyle sağlanmıştır. Refraktörlü birçok çöp yakma fırınında soğutucu su kullanarak %100 - %200 arasında hava fazlasının yeterli olduğu görülmüştür. Çöp gibi selüloz yakıtların tam olarak yakılmasında su duvarı kullanıldığında ise % 50 veye daha az hava fazlası ihtiyacı olduğu saptanmıştır.Fazla curufu önlemek ve fırın bakımını azaltmak için gerekli fırın soğutma işleminde hava fazlası kullanıldığında çok zaman kaybı oluşmaktadır.

Işınım kayıpları toplam giren ısının %1 - % 3 ' den daha fazladır ve fırın duvar konstrüksiyonuna , fırın ile çevre havası arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Denge durumundan önce fırın duvarlarında absorbe edilen ısı , tuğla duvarın genişliğinin , sıcaklık artışının ve tuğlanın spesifik ısının bir fonksiyonudur. Fırın soğuk iken çalışma başladığında ışınım kayıpları % 5 ' in üzerindedir.

Fırın duvarlarındaki ısı yardımıyla nem kurutulur ve yanabilen maddeler uçucu hale getirilir.Bu iki tepkime endotermik tepkimedir.Üst hava ile birleşen hava karbondioksit ve kükürtdioksit olarak yanar.Bu tepkime ise ekzotermik bir tepkimedir. Fırının en sıcak kısmı karbondioksitin oluşturduğu alevin üst kısmıdır. Alev direkt olarak ızgara üzerinden çöpe doğru yöneltilir.Böylece hızlı kuruma ve ateşlenme sağlanır.

5.2.5 Isı Dengesi

Yanan çöpün oluşturduğu ısının fırından sızması için üç yol vardır.

1- Bir kısmı, alt ve üst hava kanallarından gelen hava, sızıntı sonucu gelen hava çöpteki yanabilen maddeler, hava ve çöpteki nemi içeren yanma ürünleriyle taşınır.

2- Bu ısının bir kısmı , ilk ateşleme esnasında tuğla yapı tarafından absorbe edilir ve denge kuruluncaya kadar fırın dışına radyasyonla taşınır.

3- Geriye kalan ısı , arta kalan kalıntıların küllüğe düşmesiyle taşınır.

Bir ısı balansında , toplam ısı girişi yanan çöpten hesaplanmış kayıplar ve toplam ısı girişi arasındaki farklar yapılan tablolama sonucunda rahatça görülebilir.

%200 hava fazlası bir fırında kayıpların üzerinde bir ısı girişi yoksa, fırın sıcaklığı uniform kalır. Hava fazlası % 150 ' e düşürüldüğünde kayıpların üzerinde bir ısı girişi olacak bu da fırın sıcaklığının artmasına yol açacaktır. Eğer hava fazlası arttırılırsa , toplam kayıplar artmakta bu da fırın sıcaklığını düşürmektedir.

Tablo 5.1' de refraktör fırınlarında , fırın ile dış duvar sıcaklığı arasındaki etkileri ve ışınum kayıpları gösterilmiştir[6]. Tablodaki ısı dengesinden de görüldüğü gibi çok fazla ısı kayıpları fırındaki hava akışından meydana gelmektedir. Işınum kayıplarını değiştirmek içinde fırını yeniden inşa etmek gerekir. Buradan da görülmektedir ki , iyi bir çöp yakma fırını için uygun fırın sıcaklığı , hava -yakıt oranına veya zamanında fırına verilen yanma havası miktarına bağlıdır.

Tablo 5.1. %200 - %150 Hava Fazlasının Fırın Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi

Saatte Yanan Çöp Miktarı	500 kg/ h				
Fırındaki Gaz Sıcaklığı	815 °C				
Çevre Sıcaklığı	26 °C				
Fırındaki kullanılan Hava Fazlası		%200		%150	
		kJ	%	kJ	%
Yanma Ürünleri		6,528,760.5	90.5	5,175,665.8	88.3
Işınum ile duvardan meydana gelen kayıp*		187,566.6	2.6	187,566.6	3.2
Duvar kayıpları		216,423	3	216,423	3.7
Yanmamış ve hesaplanmayan durumlar		281,349.9	3.9	281,349.9	4.8
Toplam ısı kaybı		7,214,100	100	5,861,005.3	100
Toplam ısı girişi (450 x 14,428.2)		7,214,100		7,214,100	

* Fırın duvarları 22.8 cm ateş tuğlası , 20.3 cm kırmızı tuğla

5.2.6 Fırın Sıcaklığı

Yanmadaki " T_s " sıcaklığının belirlenmesinde , zaman , sıcaklık ve türbülans kriterlerinin yakından ilişkisi olup , bu değerler bir çöp yakma fırınının performansının belirlenmesinde etkili bir rol oynar. Yetersiz zamandan dolayı , yanabilen maddelerin yakılması için istenilen sıcaklık elde edilemeyecek ve uygun olmayan türbülansdan dolayı da ne zaman nede sıcaklık için gerekli şartlar oluşturulamayacaktır.

Kesin kontrol faktörleri bilindiğinde , herhangi bir fırın ve yakıt için optimum fırın sıcaklığı kolayca hesaplanabilir. Bu tür hesaplamalar ocak dizaynında uzun yıllar kullanılmasına rağmen , çöp yakma fırını dizaynı gibi uygulamalarda ise belirlenememektedir.

Kontrol faktörleri , kül oluşum sıcaklığı , katı yakıtlardaki nem içeriği ve ısıtma değeri gibi yakıt özelliklerinin yanında , boyut , su soğutma veya refraktör duvar konstrüksiyonu , ısı absorbe eden yapı bileşenleri gibi fırın özelliklerini içerir.

Buradaki prensipler herhangi bir yakıt için aynıdır. Çöp gibi katı yakıtlardaki nem içeriği kolayca ölçülüp , kontrol edilemez. Bunun yanındahava akışı kolayca ayarlanabilir. En önemli faktör üretilen ısının uzaklaştırılması ve sıcaklığın kontrol edilmesidir.

5.3 REFRAKTÖR MALZEMELERİ

En çok yaygın olarak kullanılan refraktör malzemeleri , yüksek sıcaklığa dayanıklı ateş kili , alüminyum , krom magnezit ve plastiktir. Plastikler tuğlalarda kullanılan killerden yapılmıştır.

Refraktörlü fırınlarda karşılaşılan en büyük tehlike , refraktörün curuflanması ve dökülmesidir. Curuflanma , fırının bazı kısımlarının aşırı bir şekilde yüklenerek fazla alev sıcaklığı oluşmasından dolayı veya duvar veya ark kenarlarında biriken külden dolayı oluşur. Dökülme ise , küme beslemeli fırınlarda temizlemenin veya yüklemenin yapıldığı zamanda sıcaklıkta çok büyük değişimlerin olması durumunda ortaya çıkar.

Tablo 5.2 'de refraktör malzemelerinin fırın duvarına etkileri daha açık bir şekilde görülmektedir.

Tablo 5.2 870 °C Fırın Sıcaklığında ,Durgun Havada Soğuk Yüzey Sıcaklığı ve Işınım Kayıplarının Fırın Duvarına Etkileri

Duvar Konstrüksiyonu	Soğuk Yüzey Sıcaklığı °C	Işınım Kayıpları	
		kJ/m ² h	%
11.4 cm Plastik Refraktör	227	15,400	6.5
22.8 cm Plastik Refraktör	159	8,290	3.5
22.8 cm Ateş Tuğlası 20.3 cm Kırmızı Tuğla	134	6,190	2.6
11.4 cm Plastik Refraktör 2.5 cm İzalasyon	128	5,622	2.4
20.3 cm Plastik Refraktör 10.2 cm İzalasyon	67	1,704	0.72
Su Perdesi (Devamlı) 6.3 cm İzalasyon	60	1,567	0.66

5.4 SU PERDESİ

Fırın duvarlarında kullanılan su perdelerinin birçok avantajı vardır. Bu avantajlar ; fırın duvarlarını koruyarak refraktör bakımını azaltır , devamlı olarak su ile soğutulan siyah yüzeyli borulardan daha fazla ısıyı absorbe ederek , fazla curufu önleyecek şekilde yüksek alev sıcaklığında fırının çalışmasını sağlar.

Duvardaki su sıcaklığı en az 150 °C veya fırındaki gaz damlacıklarının üzerinde olmadıkça , ocak kenarında oyulmalar başlar. Aynı zamanda bu suyun havası alınmalı yumuşatılmalıdır. Aksi takdirde oksijen korozyonu boruların hemen bozulmasına yol açar.

Pratik olarak , buhar veya yüksek basınçlı sıcak su boylerleri içeren sirkülasyon sistemleri veya suyun devamlı sirküle ettirildiği sistemleri kullanmak en güvenli olanıdır. Bu boylerler , ek bir soğutma havası veya suyu kullanmaksızın , uçan küllerin kolayca toplanıp uzaklaştırılması için çıkan gaz sıcaklığını düşürerek , bir ısı değiştirgeci olarak çalışır.

Fırının üst ve yan duvarları , ısıyı fırının arka tarafına yansıtma kalmaz , gaz akışında yönlendirir.Kontrol dışı soğuk havanın girişini önler.Hatta , refraktör fırınlarında duvar sıcaklığı , alev sıcaklığından daima düşüktür. Isı yüksek sıcaklıktan , düşük sıcaklığa doğru akacağından , duvarlar ısıyı aleve doğru tekrar yansıtma.

5.5 ÇÖP YAKMA FIRINI DİZAYN ÖRNEĞİ

1,000 kg /h 'lik çöp yakan çöp yakma fırını dizaynı:

Dizayn için yapılmış kabuller:

Tablo 1.3 ' de çöpe ait analiz değerleri

% c : 28 , % h : 3.5 , % o : 22.4 , % s : 0.16 , % w : 20.7 , % a : 24.9

$\lambda = 1.8$, $\eta = 0.85$, $t_a = 250^\circ\text{C}$, $t_u = 15^\circ\text{C}$

1-) Yanmadaki Oksijen Ve Hava Gereksimi

a-) Hacimsel $O_{\min}{}_1$ ve $L_{\min}{}_1$ İhtiyacı :

(3.2) ve (3.3) bağıntılarından ;

$O_{\min}{}_1 = 0.56 \text{ Nm}^3 / \text{kgY}$, $L_{\min}{}_1 = 2.687 \text{ Nm}^3 / \text{kg Y}$ bulunur.

b-) Kütlesel $O_{\min}{}_2$ ve $L_{\min}{}_2$ İhtiyacı

(3.4) ve (3.5) bağıntılarından ;

$O_{\min}{}_2 = 0.80 \text{ kg} / \text{kg Y}$, $L_{\min}{}_2 = 3.47 \text{ Nm}^3 / \text{kgY}$

2-) Kütlesel Duman Gazı Miktarı

a-) Kütlesel Duman Gazı Miktarı

$$G_R = (1 - a / 100) + \lambda L_{\min}{}_2 \quad , \quad [9] \quad (5.1)$$

$G_R =$ Kütlesel Duman Gazı Miktarı , kg / kg Y

$$G_R = (1 - 24.9 / 100) + 1.8 \cdot 3.47$$

$$G_R \approx 7 \text{ kg} / \text{kgY}$$

b-) Hacimsel Duman Gazı Miktarı

$$V_{RYAŞ} = V(\text{CO}_2) + V(\text{SO}_2) + V(\text{N}_2)_{\min} + V(\text{H}_2\text{O}) + V(\text{F.H.}) \quad , \quad [9] \quad (5.2)$$

$V_{RYAŞ} =$ Gerçek hava ile yanma yapıldığında oluşacak duman gazı miktarı , Nm^3 / kgY

$$V(\text{CO}_2) = 1/100 (1.867 \cdot c) \quad , \quad [9] \quad (5.3)$$

$$V(\text{SO}_2) = 1/100 (0.7 s) \quad , \quad [9] \quad (5.4)$$

$$V(\text{N}_2)_{\min} = 3.76 O_{\min}{}_1 \quad , \quad [9] \quad (5.5)$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 1/100 \cdot 1.244 (w + 9/8 \cdot o) \quad , \quad [9] \quad (5.6)$$

$$V(\text{F.H.}) = (\lambda - 1) L_{\text{min}1}, \quad [9] \quad (5.7)$$

(5.3), (5.4), (5.5), (5.6) ve (5.7) bağıntılarından

$$V(\text{CO}_2) = 0.52 \text{ Nm}^3 / \text{kgY}$$

$$V(\text{SO}_2) = 1.12 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^3 / \text{kgY}$$

$$V(\text{N}_2)_{\text{min}} = 2.1 \text{ Nm}^3 / \text{kgY}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 0.29 \text{ Nm}^3 / \text{kgY}$$

$$V(\text{F.H.}) = 2.15 \text{ Nm}^3 / \text{kgY}$$

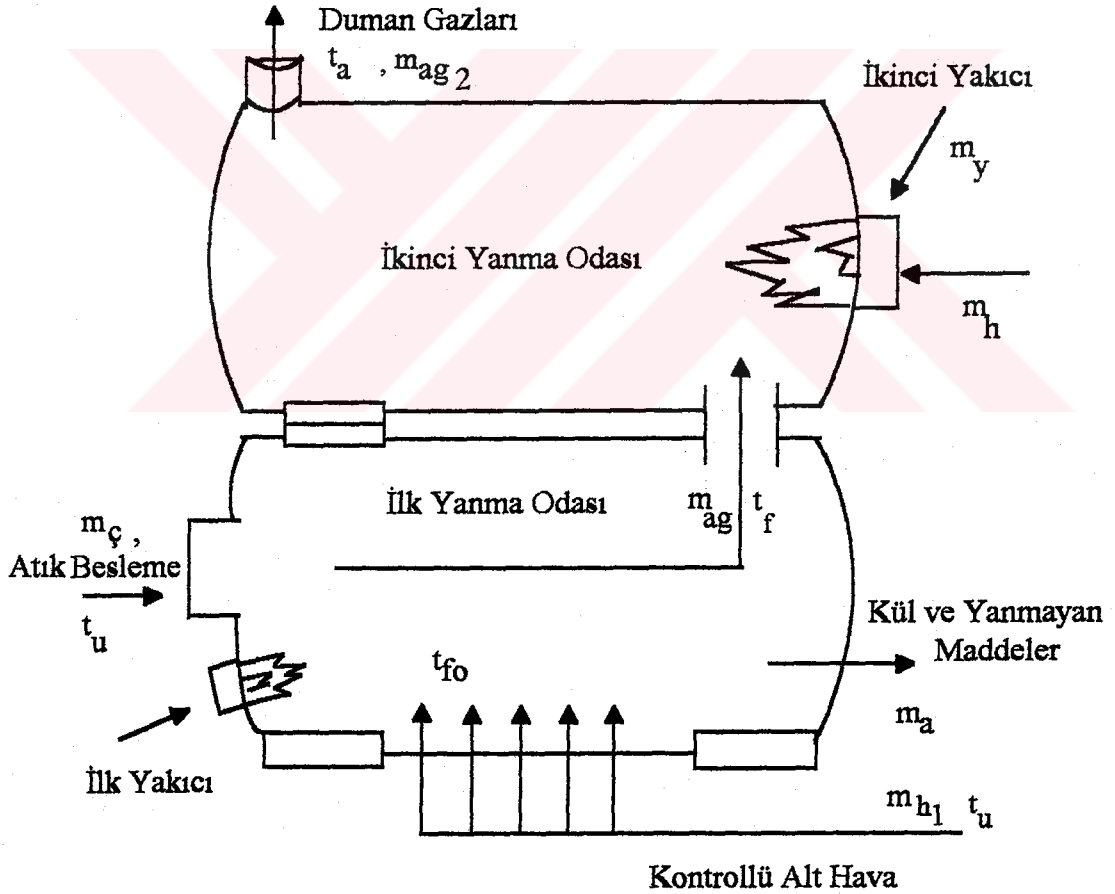
bulunur. Bu değerler (5.2) bağıntısında kullanılırsa ;

$$V_{\text{RYAŞ}} = 5.06 \text{ Nm}^3 / \text{kgY} \quad \text{olarak bulunur.}$$

3-) Alt Isıl Değerin Hesabı

(3.1) bağıntısı yardımıyla $H_u = 2,196.8 \text{ kcal /kg}$, $(9,182 \text{ kJ/kg})$ bulunur.

4-) Fırın Sıcaklığının Hesabı



Şekil 5.5 'deki I-t diyagramından $t_u (15^\circ\text{C}) \xrightarrow{I-t} I_m = 40 \text{ kcal /kgY}$

$$\eta H_u = I_{tfo} - I_m \quad [9] \quad (5.8)$$

$$0.85 \cdot 2196.8 = I_{tfo} - 40$$

$$I_{tfo} = 1,907.28 \text{ kcal/kg} \quad , \quad I_{tfo} \xrightarrow{I-t} t_{fo} = 1,050 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_a (250^\circ\text{C}) \xrightarrow{I-t} I_{ta} = 410 \text{ kcal /kgY}$$

$$Q_T = m_\varphi (I_{tfo} - I_{ta}) \quad (5.9)$$

$$Q_T = 1,000 \text{ kg/h} (1,907.28 - 410)$$

$$Q_T = 1,497,280 \text{ kcal/kg}$$

Bu ısının % 40 ' ilk yanma odasında ortaya çıktığı düşünülürse

$$Q = 0.40 \cdot Q_T$$

$$Q = 0.40 \cdot 1,497,280$$

$$Q = 598,912 \text{ kcal / h}$$

$$Q = m_\varphi (I_{tfo} - I_{tf}) \quad (5.10)$$

$$598,912 = 1,000 (1,907.28 - I_{tf})$$

$$I_{tf} = 1308 \text{ kcal / kgY} \quad , \quad I_{tf} \xrightarrow{I-t} t_f = 740 \text{ }^\circ\text{C}$$

5-) Yanma Ürünü Miktarının Belirlenmesi

m_φ = çöp miktarı , kg / h

m_h = hava miktarı , kg / h

m_a = kül miktarı , kg / h

m_{ag} = atık gaz miktarı , kg / h

olmak üzere

$$m_{ag} = m_\varphi G_R \quad (5.11)$$

$$m_{ag} = 1,000 \text{ kg / h} \cdot 7 \text{ kg / kgY}$$

$$m_{ag} = 7,000 \text{ kg / h}$$

$$m_h = \lambda (L_{mm})_2 m_\varphi \quad (5.12)$$

$$m_h = 1.8 \cdot 3.47 \text{ kg /gkY} \cdot 1,000 \text{ kg / h}$$

$$m_h = 6,246 \text{ kg / h}$$

$$m_\varphi + m_h = m_{ag} + m_a \quad (5.13)$$

$$1,000 + 6,246 = 7,000 + m_a$$

$$m_a = 246 \text{ kg / h}$$

6-) Yanma Ürünü Hacmi

$$\dot{m}_{ag} = V_{RYAS} m_{\phi} \left\{ \left[\frac{(t_f + t_u)}{2} + 273 \right] / 273 \right\} 1/3,600 \quad m^3 / h \quad (5.14)$$

$$\dot{m}_{ag} = 5.06 \cdot 1,000 \left\{ \left[\frac{(740 + 15)}{2} + 273 \right] / 273 \right\} 1/3,600$$

$$\dot{m}_{ag} = 3.35 \quad m^3 / h$$

7-) Ocak va Izgara Yükleri

$$V_f = m_{\phi} H_u / q_f \quad [9] \quad (5.15)$$

$$q_f = \text{Ocak Yükü, kcal / m}^3 \text{ h (kJ / m}^3 \text{ h)}$$

$$q_f = (0.1 - 0.2) \cdot 10^6 \text{ kcal / m}^3 \text{ h (düz ızgara ve elle yüklemeli),}$$

$$q_f = 0.2 \cdot 10^6 \text{ kcal / m}^3 \text{ h (Kabul)}$$

$$V_f = \text{Ocak hacmi, m}^3$$

$$V_f = 1,000 \text{ kg / h} \cdot 2196 \text{ kcal / kgY} / 0.2 \cdot 10^6 \text{ kcal / m}^3 \text{ h}$$

$$V_f = 10.98 \text{ m}^3$$

$$\dot{m}_{ag} = A \cdot v \quad (5.16)$$

$$v = 3 \text{ m / s (max), } v = 1.5 \text{ m / s (Kabul)}$$

$$A = \text{Fırın alanı, m}^2$$

$$3.35 \text{ m}^3 / \text{s} = A \cdot 1.5 \text{ m / s}$$

$$A = 2.23 \text{ m}^2$$

$$V_f = A \cdot L \quad (5.17)$$

$$L = \text{Fırın uzunluğu, m}$$

$$L = 10.98 / 2.23 = 4.9 \text{ m}$$

$$d = \text{Fırın çapı, m}$$

$$d = 1.68 \text{ m}$$

4x1.5 'lik ızgara seçilirse, ızgara yükü

$$L_G = m_{\phi} / A_G \quad (5.18)$$

$$L_G = 1,000 / 6 = 166.7 \text{ kg / m}^2 \text{ h}$$

8-) İkinci Yanma Odası Dizaynı

İkincil yakıcıda yaklaşık % 90 CH_4 + %10 C_2H_6 ' dan oluşan doğal gaz kullanıldığını düşünelim. Duman gazlarının özelliklerini de, yaklaşık olarak havanın özeliği olarak kabul edersek ;

Kuramsal olarak 1 kmol metanı yakmak için 9.52 mol havaya, 1kmol etanı yakmak için 16.66 kmol havaya ihtiyaç vardır.

$$\frac{m_h}{m_v} = 0.9 \times 9.52 + 0.1 \times 16.66 = 10.23$$

$\lambda=1.1$ ve yakıcı verimi $\eta=0.99$

$$\frac{m_h}{m_y} = 1.1 \times 10.23 = 11.25$$

İkinci yanma odasındaki ısı denklemleri :

$$0.60 Q_T + m_y \eta H_u + m_h I_{tu} = m_{ag2} I_{ta}$$

$$m_{ag2} = m_{ag} + m_h + m_y$$

$$898,368 + m_h [(1/11.25) \times 0.99 \times 49085] + 40 m_h = (1.089 m_h + 7000) 410$$

$$m_h = 410.24 \text{ kg / h}$$

$$m_y = 36.46 \text{ kg / h}$$

$$m_{ag2} = 7,446.7 \text{ kg / h}$$

$$t = (740+250)/2 = 495 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \rho = 0.454 \text{ kg / m}^3$$

İkinci yanma odasındaki hacimsel olarak atık gaz miktarı

$$\dot{m}_{ag2} = m_{ag2} / \rho$$

$$\dot{m}_{ag2} = 7,446.7 / 0.454 = 16,402.4 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\dot{m}_{ag2} = A \cdot v$$

$$16,402.4 / 3,600 \text{ m}^3 / \text{s} = A \cdot 1.5 \text{ m / s}$$

$$A = 3.03 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{4A/\pi} \Rightarrow d = \sqrt{4 \times 3.03 / 3.14} \Rightarrow d = 1.96 \text{ m}$$

$$L/d = 2 - 10 \Rightarrow L/d = 2.5 \text{ (Kabul)}$$

$$L = 2.5 \times 1.96 = 4.9 \text{ m}$$

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Atık maddelerin yakılarak yok edilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada , evsel ve endüstriyel çöp yakma fırınları incelenmiş ve en çok kullanılan fırınlar hakkında bilgiler verilmiştir.

Fırın dizaynında karşılaşılan en büyük problem , çöp analizinin belirlenmesidir. Evsel ve endüstriyel atıkların büyük bir kısmı mineral ve organik maddelerden oluşan heterogen karışımlar olduğu için, yanma özellikleri, homogen yakma maddelerinde olduğu gibi eşitlikler şeklinde gösterilememektedir. Isıl değer , kuramsal hava ihtiyacı ve diğer tanım değerlerini , hesaplama önceden kimyasal analiz verilerine göre hesaplamak , çöplerin içeriğinin sürekli sapmasından dolayı daha da zorlaşmaktadır. Bu da , yakma özelliklerinin geniş alanı içinde , gerekli tesislerin yapılma ihtiyacını yaratmaktadır.

Evsel çöplerin , merkezi olarak yakılmasında iki tip fırın üzerinde durulmuştur. Bunlar , küme beslemeli fırınlar ve devamlı beslemeli fırınlardır. Bu fırınlar karşılaştırıldığında ; yakıt hava karışımı devamlı beslemeli fırınlarda kolayca kontrol edilmesine karşın , küme beslemeli fırınlarda yükleme kapısının açılıp kapanırken , az veya fazla besleme durumuna göre değiştiği , devamlı beslemeli fırınlarda fırın sıcaklığının daha düzgün ve işlenecek miktarın daha fazla olduğu , temizleme zamanındaki eksikliğin prosesin devam etmesine izin verdiği gibi pul pul dökülmeyi ve curuf oluşumunu azalttığı ve bunun sonucu olarak , daha az tuğla duvarın kullanıldığı inceleme sonucunda görülmüştür. Optimum performans değerleri istendiğinde , devamlı beslemeli çöp yakma fırınlarının daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Endüstriyel katı atık maddelerin yakılması konusunda yapılan çalışmalarda , iki tip çok odalı çöp yakma fırınının daha çok kullanıldığı görülmüştür. Bunlar , pota ve hat tipi çok odalı çöp yakma fırınlarıdır. Pota tipi çöp yakma fırınında optimum boyut oranları , kübik şeklinden ve minimum dış yüzeyinden dolayı yapısal bir ekonomiklik sağladığı görülmüş ve küçük kapasiteye sahip yok etme işlemlerinde aynı işi gören hat tipi çöp yakma fırınlarına göre daha verimli çalıştığı , büyük kapasitelerde ise , hat tipi çöp yakma fırınlarında yapısal ve performans avantajlarının ortaya çıktığı inceleme sonucunda görülmüştür.

Fırın verimini ve ömrünü etkileyen en büyük faktörlerden biri , katı atıkların

yapısında bulunan yakma işlemi için uygun karakterde olmayan maddelerdir. Bu tür yanmayan maddeler , ya çok büyük hacimlere sahip olduklarından yakma ünitesine sokulamamakta , ya çok ağır maddeler olmakta yada ateşleme veya uzaklaştırma ünitelerinin işlemlerini durduran yapısal bileşenlere sahip olmaktadır. Atık maddeler toplanırken veya yakma ünitesine gelirken ayrılmaya tabi tutulmaları halinde yanma işlemi daha verimli olacaktır. Ayrıca , hava kirliliğini önlemek için gerekli tedbirler alınmalı , atık gazların geri kazanılması yolları araştırılmalıdır. Bu özellikleri gerçekleştirerek kontrollü ve iyi projelendirme mümkün olacaktır.

Bu çalışmada , fırın dizaynları yapılırken belirli bir çöp analizi ve ısı alan ortamın belli olmamasından dolayı kabuller yapılmıştır. Ayrıca sayısal olarak bulunan sonuçların , deneysel olarak doğrulanması mümkün olmamıştır. Ancak sonuçlara genel bir açıdan bakıldığında , gerçeğe yakın yaklaşımların elde edildiği görülmektedir.



KAYNAKLAR

- [1]- Baştürk, A. , 1979. Katı Artıklar Üzerine Bir Araştırma Modeli ve İstanbul İçin Uygulaması. Tez (Doçentlik) İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi İnşaat Bölümü
- [2]- Erdin, E., 1978. Çöp ve Katı Artıklardan Enerji Elde Etme Olanakları. Türkiye 3. Enerji Kongresi 4.41 s. 203-230 Ankara
- [3]- Erdin, E. , 1990. Atıkların Yakılması ve Çevresel Etkileri. MM/Çev- 90 AR33 İzmir.
- [4]- Hösel, G. , Schenkel, W. , and Schnurer, H. , 1964. MüllHandbuch, Erich Schmid. Verlag. Band 4 . , Berlin
- [5]- Rubel, F.N. , 1974. Incineration of Solid Waste. Park Ridge N.J. Nojesdata Coraruation.
- [6]- Richard, C.C., 1969. Principles and Practies of Incineration. John Wiley and Sons Inc.
- [7]- Epa. , 1990. Operation and Maintenance Of Hospital Medical Waste Incinerators. Center for Environmental Research Information . Cincinnati OH. 45268, EPA/625/6-89/024. U.S.A
- [8]- Epa. , 1989. Incineration Research Facility. Risk Reduction Engineering Laboratory , Cincinnati OH 45268, EPA/600/M-89/027 U.S.A.
- [9]- Soylu, **Ö.** Buhar Kazanları Ders Notları. Y.T.Ü. Makina Fak., Mak. Müh. Böl. Termodinamik ve Isı Tekniği A.B.D.
- [10]- Richard, A.C., Richard, D.R. , 1980. Hanbook of Industrial Waste Disposal. Litton Educational Publishing, Inc.
- [11]- Richard, M.K. , 1989. The Present and Future EPA Incineration Research Facility. Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati OH. Vol. 39, No. 10 U.S.A.
- [12]- Swithenbank, J. , Nasserzadeh, V. , and Janes, B. , 1993. Effect of High Speed Secondary Air Jets On The Overall Performance Of A Large MSW Incinerator With A Vertical Shaft. Gordon and Breach Science Publishers S.A. , Combust. Sci. and Tech. Vol. 92, pp. 389-422
- [13]- Toy, J.H., and Goh, A.T.C. , 1991. Engineering Properties Of Incinerators Residue Journal of Environmental Engineering. Vol. 117, No.2

- [14]- Thurnau, R.C. , and Demsey, C.R. , 1990. The Incineration Research Facility. Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati OH 45268 U.S.A.
- [15]- Brown , A. Evemy, P. ,and Ferrero,G.L. , 1988. Energy Recovery Through Waste Combustion, Elsevier Applied Science Publisher LTD. , England.
- [16]- Bruner , C.R. , 1991. Handbook of Incineration Systems. Mc. Gaw- Hill
- [17]- Ekinci , E. , 1990. Katı Atıkların Yakılması . Katı Atık Kirlenmesi Araştırma ve Denetimi Türk Milli Komitesi Kurs Notları. Boğaziçi Üniversitesi İstanbul



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER:

Adı Soyadı : İsmail KARAR
Doğum Tarihi : 14 Şubat 1969
Doğum Yeri : İstanbul
Tabiyeti : T.C.
İş Adresi : Yıldız Teknik Üniversitesi , Makina Fakültesi , Makina Müh. Böl.
Termodinamik ve Isı Tekniği A.B.D.
Telefon : 259 70 70 / 560

ÖĞRENİM DURUMU:

İlkokul : Ali Ülker İlkokulu , 1975 - 1980
Ortaokul : Rifat Canayakın Lisesi , 1980 - 1983
Lise : Rifat Canayakın Lisesi , 1983 - 1986
Üniversite : Yıldız Üniversitesi , Mühendislik Fakültesi , Makina Mühendisliği
Bölümü, 1987 - 1991.
Yabancı Dil : İngilizce