

23762

T.C.
ULUDAĞ UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTUSU
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YANMA OLAYINDA
EMİSYON KONTROLLERİ

DOKTORA TEZİ

NADİR İLTEN

BURSA, EYLÜL 1992

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTUSU
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YANMA OLAYINDA
EMİSYON KONTROLLERİ

DOKTORA TEZİ
NADİR İLTEN

Sınav Günü : 21.12.1992

Jüri Üyeleri : Y.Doc.Dr. Ömer S. MERTBAŞ (Danışman) (U.Ü.)
: Prof..Dr.Doğan.ÖZGÜR. (Y.T.Ü.)
: Prof. Sabri. SAVAŞ. (U.Ü.)

BURSA, EYLÜL 1992

ÖNSÖZ

Gelişen teknoloji ve artan nüfus, bir çok kirlilik problemini de beraberinde getirmektedir. İnsan sağlığını etkilemede çok büyük bir etken olan hava kirliliği; yanma sonucu oluşan duman gazlarıyla, motorlu taşıtlardan çıkan egzoz gazlarıyla ve endüstriyel tesislerdeki atık gazlarla oluşmaktadır.

Duman gazlarının tesiri, kirliliğin yoğun olduğu kış aylarında etkisini göstermektedir. Büyük çoğunluğu ızgaralı yakma sistemlerinden oluşan duman gazlarının etkisi; yanma olmadan önce, yanma sırasında ve duman kanalında uygulanacak bazı yöntemlerle azaltılabilir.

Bu tezin hazırlanışında bana yardımcı olan; değerli hocalarım Sayın Prof. Doğan ÖZGÜR'e, Sayın Prof.Dr. Eralp ÖZİL'e, Sayın Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ'ye, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ömer S. MERTBAŞ'a, Balıkesir Mühendislik Fakültesi Öğretim Elemanlarına ve yakıt analizlerinin belirlenmesinde Balıkesir SET Çimento A.Ş. ilgililerine teşekkür ederim.

ÖZET

Bu çalışmada; düşük kapasiteli ızgaralı yakma sistemlerinde yanma sonucu oluşan zararlı emisyonların azaltılabilirliği araştırıldı.

Bunun için, Balıkesir ve çevresinde en çok kullanılan linyit kömürlerinden örnekler alınarak yakıt analizleri ve elek analizleri yapıldı.

Örnek kömürler, önce farklı tane irilik aralıklarına göre yakma sisteminde (sobada) yakıldı. Yanma sonucu oluşan SO_2 , O_2 , CO , CO_2 , ısılık ve kül emisyonları ile, duman gazları sıcaklığının kömür tane iriliğine bağlı olarak nasıl değiştikleri belirlendi. 10-40 mm tane aralığındaki kömürlerin bu sistemlerde optimal şartlarda yandığı sonucuna varıldı.

Yanma sonucu oluşan SO_2 'yi azaltmak için kömürün $CaCO_3$ (kireçtaşı) karışımı ile yakılmasında, duman gazlarında %50'ye varan kükürt giderme derecesine ulaşıldı.

Deney yakıtları, yakma havası değişimine bağlı olarak yakıldığında, hava fazlalık katsayısının yaklaşık 1.7 olması durumunda optimal yanma ve uygun emisyon değerleri elde edildi.

Daha iyi yanma ve düşük emisyon değerleri elde edebilmek için, kömür-fuel oil karışımları ile yakmada, yanma sırasında mahal içine koku yayılması nedeniyle bu karışımların yakılması uygun görülmedi.

Doldurma yüksekliğinin değişimine göre yapılan yakmada ise; doldurma yüksekliği, yanma bölgesinin tüm yüksekliğinin yaklaşık yarısına ulaştığında en uygun yakma elde edildi.

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit ist das Vermindern, von den schaedlichen Emissionen geforscht worden, die durch die Verbrennung in den Kleinverbrennungssystemem mit Rost entstehen.

Dafür sind Exemplare von Braunkohle, die in Balikesir und seiner Umgebung am meisten verwendet werden, genommen und die Brennstoff- und Siebanalysen gemacht worden.

Zuerst, sind die Kohlenexemplare in verschiedenen Kerngrössen in einem Verbrennungssystem verbrant. Die bei der Verbrennung entstandene Emissionen z.B. SO_2 , O_2 , CO , CO_2 , Russwert, sowie Asche und die Rauchgastemperatur sind nach ihrer Abhaengigkeit zu der Kerngrössen der Braunkohle bestimmt worden. Dabei war zu sehen, dass die Braunkohle mit 10-40 mm Kerngrösse in diesen Verbrennungssystemen optimal verbrannt.

Um die SO_2 zu vermindern, die beim Verbrennen entstehen, ist die Braunkohle mit Kalksten (CaCO_3) zusammenverbrant, somit war eine 50%'ige Verminderung von Rauchgasen erreicht worden.

Als die Versuchsbrennstoffe, unter Aenderung von Verbrennungsluft verbrant worden sind, sah man, das die optimale Koeffizient von Luftüberschuss 1.7 war und man die besten Emissionswerte erhielt.

Beim Versuch, um niedrigere Emissionswerte und eine bessere Verbrennung zu erhalten, benutzte man Mischung von Fuel-oil und Braunkohle war zu viel Geruch im Raum. Deshalb wurde es nicht für günstig gehalten.

Bei der Verbrennungsversuchen nach der Abhaengigkeit von der Füllhöhe hat man gesehen, dass die beste Füllhöhe für die Verbrennung ungefaehr die halbe Brennkammerhöhe war.

KULLANILAN SEMBOLLER

V_{YHmin}	: Minimum yakma havası (Nm ³ /kg)
V_{DGmin}	: Minimum duman gazı (Nm ³ /kg)
$V_{DGmin-kuru}$: Minimum kuru duman gazı (Nm ³ /kg)
$V_{DGmin-eksik}$: Eksik yanmada minimum duman gazı (Nm ³ /kg)
V_{SO_2}	: Duman gazındaki kükürtdioksit (Nm ³ /kg)
CO_{2max}	: Duman gazındaki maksimum karbondioksit (%)
V_{N_2}	: Duman gazındaki azot (Nm ³ /kg)
V_{CO_2}	: Duman gazındaki karbondioksit (Nm ³ /kg)
$V_{COeksik}$: Duman gazındaki karbonmonoksit (Nm ³ /kg)
CO_{max}	: Duman gazındaki maksimum karbonmonoksit (%)
CO_2	: Duman gazındaki karbondioksit (%)
O_2	: Duman gazındaki oksijen (%)
NO_x	: Duman gazındaki azotoksit (ppm)
T_{gaz}	: Duman gazı sıcaklığı (°C)
C	: Kömürdeki karbon oranı (%)
S	: Kömürdeki karbon oranı (%)
N	: Kömürdeki azot oranı (%)
O	: Kömürdeki oksijen oranı (%)
W	: Kömürdeki kül oranı (%)
a	: Kömürdeki nem oranı (%)
H	: Kömürdeki hidrojen oranı (%)
Px	: Duman gazları ile ölçüm yeri arasındaki basınç farkı (hPa)
Hu	: Kömürün alt ısıl değeri (Kcal/kg)
Ho	: Kömürün üst ısıl değeri (Kcal/kg)
CaCO ₃	: Kireç taşı (Kalsiyum karbonat)
λ	: Hava fazlalık katsayısı (Lamda)
Q _A	: Baca gazı duyulur ısı kaybı (Kcal/kg)
C _{pm}	: Baca gazları özgül ısısı (Kcal/kg K)
Q _B	: Baca gazlarında eksik yanma kaybı (Kcal/kg)
σ_{co}	: Karbonmonoksit kaybı (Kcal/kg)
Q _{Fr}	: Yanmamış yakıt kaybı (Kcal/kg)
Q _K	: Toplam ısı kaybı (Kcal/kg)

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iii
ÖZET	iv
KULLANILAN SEMBOLLER	vi
1. GİRİŞ	1
2. KURAM	9
2.1. HAVA KİRLİLİĞİ	9
2.1.1. Giriş	9
2.1.2. Yanmanın Oluşturduğu Hava Kirliliği	12
2.1.3. Endüstriyel Tesislerle Oluşan Kirlilik	13
2.2. HAVA KALİTESİNİN KORUNMASI	15
2.2.1. Hava Kalitesini Koruma Çalışmaları	16
2.2.2. Emisyon Sınır Değerleri	18
2.3. IZGARALI SİSTEMLERDE YANMA	21
2.3.1. Kömürün Yanma Özellikleri	21
2.3.2. Sabit Yataklarda Yanma	23
2.3.3. Yanma Kayıpları	24
2.3.4. Yanma Hesapları	27
2.3.5. Yanma Diyagramları	29
2.4. YAKMA SİSTEMLERİ	31
2.4.1. Izgaralı Yakma Sistemleri	32
2.4.2. Akışkan Yataklı Yakma Sistemleri	34
2.4.3. Hacimde Yakma Sistemleri	36
2.5. YANMA SONUCU OLUŞAN EMİSYONLAR ve ÇEVREYE ETKİLERİ..	38
2.5.1. Zararlı Emisyonlar	38
2.5.2. Zararlı Emisyonların Çevreye Etkileri	45
2.6. YANMA SONUCU OLUŞAN EMİSYONLARA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.	48
2.6.1. Yakıtın Etkisi	49
2.6.2. Sistemin Etkisi	50
2.6.3. Bacanın Etkisi	50
2.6.4. Meteorolojik Şartların	51
2.6.5. Topografik Yapı ve Kentsel Dokunun Etkisi	54
2.7. YANMA SONUCU OLUŞAN EMİSYONLARIN KONTROLÜ	55
2.7.1. Enerjinin Verimli Kullanımı ile Zararlı Emisyonların Azaltılması	55

2.7.2. Yakıt Hazırlama ile Zararlı Emisyonların Azaltılması	57
2.7.3. Zararlı Emisyonların Yanma Odasında Tutulması..	61
2.7.4. Zararlı Emisyonların Baca Gazlarından Arıtılması	63
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	
YANMA SONUCU OLUŞAN EMİSYONLARIN AZALTILABİLİRLİĞİ ...	69
3.1. Yakıtın (Kömürün) Hazırlanması	69
3.2. Deney Yakıtları ile İlgili Hesaplamalar	74
3.3. Deney Ekipmanları	79
3.4. Deney Düzeneği	81
3.5. Deneylerin Yapılışı ve Bulgular	81
3.5.1. Kömürlerin, Tane İriliğine Göre Yakılması	81
3.5.2. Kömürlerin, CaCO ₃ Karışımı ile Yakılması	106
3.5.3. Kömürlerin, Yakma Havası Değişimine Göre Yakılması	117
3.5.4. Kömür-Fuel oil Karışımının Yakılması	135
3.5.5. Kömürlerin, Doldurma Yüksekliğinin Değişimine Göre Yakılması	147
4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	151
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	157
KAYNAKLAR	159
ÖZGEÇMİŞ	168

1-GİRİŞ

İçinde yaşadığımız dünyada insan refahını arttırmak amacıyla endüstri gelişimi hızlanmıştır. Gelişen endüstri, enerji tüketiminin sürekli artmasına neden olurken, aynı zamanda evsel ve endüstriyel atıkların yarattığı kirliliğe neden olmaktadır. Oluşan bu kirli çevre ve hava şartları insan sağlığını etkiler hale gelmiştir. Görülüyor ki insan refahını arttırmakla daha uygun yaşam şartları amaçlanırken, tam aksi bir sonuçla karşı karşıya kalınmaktadır. Bu amaçla endüstrideki gelişimi durdurmak düşünülemez. Yapılması gereken, temiz enerji kaynaklarını kullanmak ve en az kirliliğe neden olan yakma sistemlerini devreye sokmaktır. Ayrıca, iyi bir yanma sağlanmaya çalışılırken, elde edilen ısıdan daha fazla yararlanmayı mümkün kılan yalıtım işlemine de gereken önem mutlaka verilmelidir. Uygun yapılan bir yalıtım sonucunda, gerekli ısı ihtiyacı için istenen yakıt miktarı oranı düşecek, bu da zararlı emisyon oranının azalmasına neden olacaktır.

Özellikle ülkemizde hava kirliliğinin maksimuma çıktığı kış aylarında, evlerin ve endüstriyel binaların ısıtılması kirliliğe en büyük etken teşkil etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerjinin hemen hiç kullanılmadığı ülkemizde ısıtmanın, soba ve kalorifer tesislerinde katı fosil yakıt yakılması ile gerçekleştirildiği gözönüne alınırsa, kömür-soba ikilisinin incelenmesinin önemi ortaya çıkar.

Izgaralı sistemlerde yanma sonucu oluşan hava kirliliğinin kontrolünde uygulanan başlıca yaklaşımlar:

- 1- Enerjinin verimli kullanımı ile zararlı emisyonların azaltılması;

Bu konuda; A.DURMAZ (1987), Türkiye'nin enerji alt yapısı, yakıt ve yakma sistemlerinin hava kirliliği ile ilişkilerini incelemiştir. Yanma öncesi, yanma sırasında ve yanma sonrası kirliliği önleme çarelerini tanıtarak ir-

delemiştir.

K.TULBENTÇİ (1991), ısı yalıtımsız yapıların kentsel hava kirliliğine etkilerini incelemiş ve ısı yalıtımını yaygınlaştırarak hava kirliliğini azaltmak için teknik, sosyal ve ekonomik öneriler dizinini sunmuştur.

16 Ocak 1985 tarih ve 18637 Sayılı Resmi Gazete'de (ANONİM, 1985) yayınlanan "İsı Yalıtım Yönetmeliği" ve 5. Enerji Kongresi İstatistikleri, bu konudaki çalışmalara yön vermek için gözönüne alınması gereken yayınlardır.

- 2- Kirletici özelliği az olan yakıtların kullanılması veya yakıt hazırlama teknolojileriyle yakıtların çevre ile uyumlu hale getirilmesi;

Bu konuda; S.KUÇUKBAYRAK ve Çalışma Arkadaşları (1986), Çayırhan Linyitinin kükürdünün hava oksidasyonu ile giderilmesi çalışmalarında, başta piritik kükürt için de etkin bir giderme yöntemi olduğunu belirlemişlerdir.

E.EKİNCİ ve ç.a. (1985), ülkemizde bulunan linyit kaynaklarının deneysel olarak saptanmış özelliklerini baz alarak çevre kirletme potansiyellerini araştırmışlardır. Uzun vadede akışkan yatakta yakmayı en uygun çözüm olarak önermişlerdir.

C.BİRON (1982), çeşitli Türk kömürlerine ait; rezerv, kömür analiz, jeolojik yaş, damar sayısı, optimal üretimleri, eleme, yıkama ve enerji tesisleri ve koklaşma özelliklerini çizelgeler halinde vermiştir.

G.ÖZBAYOĞLU (1983), 10 mm'nin altına kırılmış Erzurum-Aşkale linyitinin 1.60 yoğunluğunda kül ve piritik kükürttten temizlenmesinin mümkün olduğunu göstermiştir. Bu şekilde Erzurum-Aşkale linyit numunesinden külün %65.2'sini, piritik kükürdün %78.9'unu, toplam kükürdün %69.8'ini uzaklaştırabilmiştir.

M.CEMALOĞLU ve ç.a.(1988), Keles ve Ağaçalı linyitlerinde Meyers ve klorlama yöntemlerinin kükürt giderme üzerindeki

etkilerini incelemişlerdir. Keles linyitlerinde piritik kükürdün %63.33'ünü, sülfat kükürdünün %71.60'ını, organik kükürdün %56.25'ini; Ağaçlı linyitlerinde piritik kükürdün %78.72'sini, sülfat kükürdünün %91.42'sini, organik kükürdün %76.72'sini giderdikleri klorlama yönteminin Meyers yönteminden daha etkin olduğunu deneysel olarak belirlemişlerdir.

A.ÇULFAZ (1991), kömürlerin içerdiği nem, mineral madde ve kükürt gibi safsızlıkların, kömürün yerleşik kullanım alanlarında geçerli olan kömür hazırlama teknikleriyle ilişkili olarak önemini belirtmiştir. Mineral madde ve kükürt gidermeye yönelik geliştirilmekte olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik kömür temizleme yöntemlerini sunmuştur.

M.AHMED ve ç.a.(1991), Soma linyitlerinden kimyasal yöntemle mineral maddelerin giderilmesi üzerinde durmuşlardır. Kömürün teflon potada NaOH çözeltisi ile muamelesi sonucunda uygun şartlarda mineral maddenin %90'dan fazlasının giderilmesinin mümkün olduğunu göstermişlerdir.

G.ARIN (1991), en etkili yöntemlerle ve beş çözücüde ekstrakt edilmiş Tunçbilek linyitlerinin 1/4 oranında toluen/antrasen yağı çözücü ikilisinde, 426°C'da oluşmuş ürünlere dikkat çekmiştir.

3- Uygun yakma sistemleri ve teknolojileri ile hava kirleticilerin bir bölümünün yanma odasında tutulması;

Bu konuda; P.DAVIDS ve ç.a.(1985), güç merkezlerinde kükürtdioksitin azaltılmasını, yanma bölgesine kireç tozu ilavesiyle; azotoksitin azaltılması için de basamaklı yakıcıları araştırmışlardır. Bu yöntemlerle kükürtdioksit ve azotoksitte sınırlamalara uygun azaltmalar yapılabileceğini belirlemişlerdir.

W.SCHULTESS (1987), küçük ve orta kapasiteli sistemlerde, yüksek sıcaklık bölgesinin azaltılması ve yanmanın iyileştirilmesi, az oksijenle yakma gibi yöntemlerle azotoksit emisyonunun azaltılmasını araştırmıştır.

S. MICHELFELDER (1976), yanmada azotoksit oluşumu üzerine yanma parametrelerinin (yanma havası, yakıt yükleme şekli, yakıt durumu vb) ve yakıcıların değişiminin etkisini araştırmıştır.

T.GAUS (1986), çürük gaz sevk etme şekilleri ve bacalarda nemlenmeden kaçınılması çarelerini incelemiş, yakma sistemlerinde baca temizliğinin oynadığı rolü anlatmıştır.

N.TEKİN (1981), ülkemizde düşük değerli yakıtların yakılabilmesini ve beraberinde getirdiği sorunları araştırarak düşük değerli katı yakıtlara dayalı elektrik santrallerinin kurulmasını önermiştir.

A.DURMAZ (1991), yakıt ve yanma özelliklerine bağlı olarak yanma mekanizmasını incelemiştir. Alışlagelmiş yakma sistemlerini sistematik olarak sınıflandırmış, bu sistemlerde enerji ekonomisi ve çevresel etki yönünden daha uygun bir yanmanın gerçekleştirilebilmesi ile ilgili yaklaşımlar üzerinde durmuştur.

B.Z.UYSAL (1991), teknolojik gelişmeye paralel olarak katabarcıklı, sirkülasyonlu ve basınçlı akışkan yataklı yakma sistemlerinin genel özelliklerini incelemiş ve alışılmış diğer sistemlerle karşılaştırarak, avantajlarını belirtmiştir. Ayrıca akışkan yataklı kazanlarda, kükürtdioksit, azotoksit ve yanmamış gaz emisyonları ve bunları yanma esnasında önleme metodlarını değerlendirmiştir.

Ş.BAŞKAYA ve A.DURMAZ (1991), kömürlü kalorifer kazanlarının yanma ve emisyon özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik deneysel çalışmaların yapılması ile ilgili genel bir test programı geliştirmişlerdir. Kazanları, ekonomik ve çevresel etki boyutlarının analizinde kullanılan kazan ısı kayıpları, verimleri, kapasiteleri ve emisyonları yakıt özellikleri ve çeşitli işletme koşullarına bağlı olarak incelemişlerdir.

A.DURMAZ ve ç.a.(1991), ülkemizde kullanılan alışılmış çeşitli kovalı ve kovasız kömür sobalarının yanma ve emisyon

özelliklerini incelemişlerdir. Kömür özellikleri ve yakma koşullarına bağlı olarak soba kayıpları, verimleri ve emisyonları incelenmiş, enerji ekonomisi yönünden en uygun soba yakma koşullarını belirlemişlerdir.

M.SIVRİOĞLU ve ç.a.(1991), ısınmada kullanılan katı yakıt kazanlarını toz emisyon özellikleri, toz konsantrasyonu, toz tane büyüklüğü dağılımları, çeşitli işletme koşulları ve değişik kömür tipleri için araştırmışlardır. Ölçüm sonuçlarını analiz ederek çeşitli parametrelerin, katı yakıt yakan kazanların toz emisyonu özellikleri üzerine etkilerini belirlemeye çalışmışlardır.

4- Hava kirleticilerin baca çıkışı öncesinde baca gazlarından arıtılması;

Bu konuda; M.ESCHE ve H.IGELBUSCHER (1985), ısı enerjisi harcamadan duman gazlarından kükürdün temizlenmesini araştırmışlardır. Bu araştırmada, duman gazları kireç ve kireç taşı ile yıkanmış ve gips oluşumu incelenmiş, uygun kükürtdioksit azaltımı sağlanmıştır.

P.SPORENBERG ve ç.a.(1985), orta ve küçük kapasiteli endüstri kazanlarında (<50 MW) duman gazına önce "Amonyak + Hava", daha sonra "NaOH/Su" püskürtülerek kükürtdioksit ve azotoksit giderimini araştırmışlardır.

G.NIEDING(1985), fosil kökenli yakıtların yanması sonucu açığa çıkan kükürtdioksidin miktarına göre ne gibi rahatsızlıklar oluşturabileceğini incelemiştir.

W.BERGE (1986), Göppingen (Almanya) şehir merkezinde kazanlarda azot giderimi yöntemlerini denemiş ve özellikle kirletici emisyon yığılması olan yerlerde enerji taşıyıcı olarak doğal gazın kullanımını tavsiye etmiştir.

R.WILDER (1986), küçük ve orta kapasiteli kazanlarda kükürt giderimi için maliyeti az olan kuru toplama sistemlerini önermiştir. Seçtiği pilot sistemle kükürt gidermede uygun sonuçlar elde etmiştir. Tutulan atık maddeleri tetkik etmiştir.

R.SIEKMANN (1986), küçük bir ısıtma sistemi örneğinde çevre sağlığına hizmet eden kükürt ve azot giderme sistemlerini anlatmıştır. %90'dan fazla kükürt giderme derecesine erişmiştir.

K.KNOBLAUCH ve ç.a. (1985), kömür yakan sistemlerde SO₂ ve NO_x emisyonlarının birlikte uzaklaştırılması için duman gazlarını NH₃ ile yıkamışlar ve uygun sonuçlar almışlardır. SO₂'in %95'i, NO_x'in ise %80'ini ayırabilmişlerdir.

L.WELLER (1985), duman gazlarındaki zararlı emisyonları belirtmiş, kuru ayırma yöntemi ile duman gazını Ca(OH)₂ ve Na(OH) ile yıkayarak ayırma yöntemlerini anlatmıştır.

K.KIRCHNER ve A.KAIZIK (1985), çürük gazların katalitik temizlenmesinin esaslarını belirtmişler. Katalisatör olarak metal veya metaloksitlerin (Al₂O₃, SiO₂) kullanımını incelemişler ve uygun sonuçlar almışlardır.

D.GEPPERT (1989), duman gazlarındaki azotoksit reaksiyonlarının üzerine katalitik olarak uçucu küllerin tesirinin olup olmadığını açıklayabilmek için bir akışkan yataklı deneme sistemi yapmıştır. Azotoksidin redüksiyonunu, uçucu küldeki yanmayan karbonların oluşturduğu katalitik tesiri gözönüne alarak sağlamıştır.

W.WEISWEILER ve B.HOCSTEIN (1989), duman gazlarındaki azot gideriminde katalisatörleri anlatmışlar. Katalisatör olarak demir, bakır ve mangan oksitleri önermişlerdir.

Z.AYVAZ (1988), yüksek kükürtlü yakıtları kullanan 1.5-117 MW kapasiteli ısıtma sistemlerine uygulanabilen ve nötralizasyon için Na₂CO₃ ve NaOH kullanan SO₂ temizleme sistemleri ile %99'luk bir ayırmanın mümkün olabileceğini belirtmiştir.

G.ÖNER ve ç.a.(1986), Türk linyitlerinin çevre kirletme potansiyellerini değerlendirmişlerdir. Kirletici emisyonları azaltıcı bazı yöntemleri ve sistemleri önermişlerdir.

D. PEHLIVAN (1991), uç cins kömürün kübik 12-21 mm büyüklükteki tanelerin silindirik bir elek sepet içerisinde yakılmasıyla is ve zift oluşumunu incelemiştir. Sıcaklığın, tane kütlesi ve hava hızının artmasıyla, azalan is ve zift oluşumuna uçucu madde yanmasının neden olduğunu ortaya koymuştur.

S. KAYTAKOĞLU ve ç.a.(1991), yakma kökenli kükürt ve azot oksit gazlarının birincil ve ikincil kontrol yöntemlerini, işletme parametreleri ve işlem koşullarının etkisini de gözönüne alarak incelemişlerdir.

İ.AR ve ç.a.(1991), kireç taşlarının yanma sırasında açığa çıkan SO₂'yi tutma kapasitelerini incelemişlerdir. Taşların yüzey alanlarının artmasıyla genellikle reaksiyon hız sabitinin de artışa neden olduğunu belirtmişlerdir.

V.KESKİN ve ç.a.(1991), Tunçbilek ve Soma linyitlerinin küllerinin yanma sırasında kükürt tutma kapasitelerinin tane iriliği arttıkça arttığı, 985°C'da 11.1 mm çapındaki linyitin yakılması sırasında %40'a varan oranda kükürdün külde kaldığını bulmuşlardır. Linyitlere kireçtaşı eklenmesiyle Ca/S oranının 3 dolayında seçilmesiyle kükürt tutma oranı %70 dolayına yükseldiğini belirtmişlerdir.

M.SİVRİOĞLU ve ç.a.(1991), toz emisyonlarını ayırma sistemlerini tanıtmışlardır. Toz arıtma sistemlerinin optimum tasarımlarına örnek olarak siklon tasarımı planlamışlar ve maksimum toplama verimini, minimum basınç kaybıyla verebilecek bir optimum siklon tasarımı sunmuşlardır.

M.AYIK ve ç.a.(1991), ısıtmada kullanılan katı yakıt yakan kazanların bacasından çıkan tozların önlenmesinde ayrıştırıcı olarak siklonların performanslarının iyileştirilmesine yönelik bir model siklon testi kurmuşlardır. Yaptıkları deneylerde siklon geometrisi, partikül konsantrasyonu ve tane büyüklük dağılımını, basınç kaybını gözönüne alarak verimi incelemişlerdir.

Bu çalışmada; Ülkemizin sosyal, ekonomik ve meteorolojik ko-

şulların da bir ortalama kabul edilerek, Balıkesir ili pilot şehir olarak seçilmiş, oluşturulan deney setinin doğru sonuç alınabilecek tarzda olmasının yanısıra, büyük çoğunlukla kullanılan klasik yakma sistemlerine (sobalara) benzemesine dikkat edilmiştir. Denemeler, yukarıda açıklanan çalışmaların ışığı altında yapılmıştır.

Balıkesir'e giren, çok çeşitli isimlerle anılan bir çok kömür çeşidinden nünuneler alınmış ve tane iriliğine göre ayrılmış; tane iriliği, hava fazlalık katsayısı, kömürün kimyasal analizi ve kömüre ilave edilen kireçtaşı, fuel-oil gibi katkı maddelerinin yanma anındaki davranışları ile duman gazlarıyla çevreye yayılan SO_2 , CO ve ısılilik değerleri ölçülerek standartlarla karşılaştırılmıştır. Yüksek yanma verimine sahip, havayı kirletici emisyonların en az olduğu optimum yanmayı belirlemek çalışmanın amacı olmuştur.

Konunun, insan sağlığını günlük yaşam için gerekli enerji rezervlerini doğrudan etkilemesi açısından çok daha ayrıntılı incelenerek bilimsel çalışmaların uygulamaya dönüştürülmesinde önemli yararlar vardır.

2- KURAM

2.1. HAVA KIRLİLİĞİ

2.1.1. Giriş

Bilindiği gibi canlılar yaşamak için hava, su ve besin üçüne ihtiyaç duyarlar. Sağlıklı yaşamın şartı, bu üç temel maddenin hijyenik olmasını gerektirir. Yapılan araştırmalarda, bir insanın normal yaşamını sürdürebilmesi için günde yaklaşık 1.5 kg besin, 2.5 kg su ve 15 kg havaya gereksinimi olduğu tesbit edilmiştir. Ayrıca bir insan, açlığa 60 gün dayanabildiği halde havasızlığa 6 dakika bile dayanamaz /ÖZTAN (1985)/.

Bir çok araştırmacı, Çizelge 2.1'de verilen bileşen oranlarına sahip havayı "Temiz Hava" olarak adlandırmıştır. Buna karşın, çizelgede verilen bileşen oranlarındaki farklılık veya başka bir maddenin bulunması ise "Kirli Hava" olarak tanımlanmaktadır /DOĞAN (1988)/.

Bununla birlikte, Çizelge 2.1'e tam anlamıyla uyan ideal şartlarda bir hava ortamını bulabilmek, günümüzde hemen hemen imkansızdır. Bu nedenle, çizelgede bulunan bileşen oranlarının istenmeyen düzeye yükselmesi ya da insan sağlığını tehlikeye sokan maddelerin hava içinde bulunması halinde havanın, "Kirli Hava" olarak adlandırılması daha uygun olacaktır /KARPUZCU (1984), KARPUCU (1988)/.

Sürekli gelişen endüstri, taşıt araçlarının yoğunluğu ve enerji üretimi hava kirliliğini oluşturan en önemli etkenlerdir. Bu faaliyetlerin insan yaşamı için vazgeçilmez olduğu gözönüne alınırsa, gelişme ile birlikte doğayı korumanın bir optimum yolunun bulunmasının önemi ortaya çıkar. Yukarıda sayılan nedenlerle havaya karışan kirletici partiküller genel olarak;

- Nüfus yoğunluğuna sahip, topografik ve meteorolojik şartların, soğuk mevsimlerde hava sirkülasyonunu zorlaştırdığı bölgelerde,

Çizelge-2.1 Kuru havanın kimyasal bileşimi /MENIG (1977)/

Bileşen	Formül	Konsantrasyon	
		Hacimsel %	Ağırlık %
Azot	N ₂	78.03	75.47
Oksijen	O ₂	20.99	23.20
Argon	Ar	0.933	1.28
Karbondioksit	CO ₂	0.030	0.046
Hidrojen	H ₂	0.01	0.001
Neon	Ne	0.0018	0.0012
Helyum	He	0.0005	0.00007
Kripton	Kr	0.0001	0.000
Ksenon	X	0.000009	0.00004

- Sanayi ağırlıklı bölgelerde,
- Özellikle işe gidiş ve işten dönüş saatlerinde trafiğin yoğunlaştığı kavşak ve otoyollarda belirgin hale gelmektedir /YILMAZ (1991)/. Global olarak gaz emisyonlarının oluşturduğu hava kirliliği Çizelge-2.2'de, aerosollerin oluşturduğu hava kirliliği ise Çizelge-2.3'de verilmiştir.

Gelişmiş ülkeler, insan refahı için geliştirdikleri endüstrinin oluşturduğu çevre ve hava kirliliğinin bu yönde insan sağlığını etkiler boyuta ulaştığını gördüklerinde, atıkları çevre ve hava kirletici unsur içeren endüstrilerini, az gelişmiş ülkelere kurmaya çalışmakta veya atıklarını yasal olmayan yollarla yine bu ülkelere göndermektedirler. Bu nedenle çevre ve hava kirliliği olayını dünyanın sorunu olarak bir bütün içinde değerlendirmek daha uygun ve sorunun çözümünde faydalı olacaktır.

Hava kirliliğini oluşturan etmenlerin en önemlileri;

- Isıtma amacıyla, evsel yakma sistemlerinde yanmanın oluşturduğu kirlilik,
- Motorlu taşıt araçlarının egzozlarından çıkan gazlar,

Çizelge-2.2 Global olarak gaz emisyonlarının oluşturduğu hava kirlenmesi /MOLL (1983)/

Kirlenici Emisyon	Kirlenici Kaynak	
	İnsan	Doğa
SO ₂	Kömür ve Yağ Yakma	Volkanlar
H ₂ S	Kimyasal Prosesler	Volkanlar
N ₂ O	—	Çürümeler
NO	Yanma	Bakterilenme
NO ₂	Yanma	Bakterilenme
NH ₃	Kömür Yakma	Çürümeler
CO	Yanma Prosesleri	Oksidasyon
O ₃	—	Troposfer Stroposfer
Hidrokarbonlar	Yağ Yakma	Biyolojik Prosesler

Çizelge-2.3 Global olarak aerosol emisyonlarının oluşturduğu hava kirlenmesi /MOLL (1983)/

İnsanlardan oluşan aerosoller	Doğal aerosoller
Toz parçacıkları	Toprak tozları
SO ₂ 'nin aerosolleri	H ₂ S'in aerosolleri
NO _x 'in aerosolleri	NO _x 'in aerosolleri
Hidrokarbonun fotokimyasal aerosolleri	NH ₃ 'in aerosolleri Fotokimyasal aerosoller Volkan külleri Orman yangınları Deniz tuzları

- Endüstriyel tesislerin bacalarından bırakılan kirlenici emisyonlar oluşturmaktadır.

Kömür yakılmasına dayalı olarak, yanmanın oluşturduğu kirlilik ve endüstriyel tesislerin oluşturduğu kirlilikten söz edilebilir.

2.1.2. Yanmanın Oluşturduğu Kirlilik

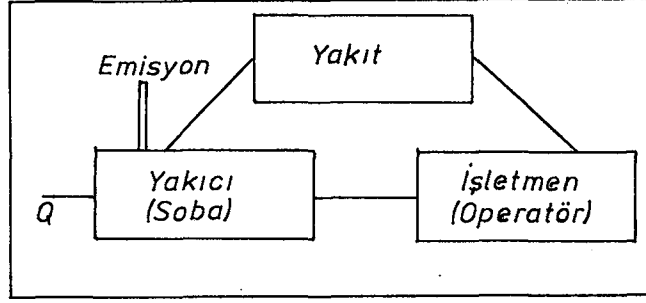
Konutların ve işyerlerinin ısıtılması amacı ile soba veya kalorifer sistemlerinde, yanma sonucu oluşan emisyonlar, hava kirliliğinin başlıca sebeplerinden biridir. Öyle ki, hava kirliliğine neden olan SO₂'nin %90'ünün, duman gazlarının ise %80'inin sadece ısıtma amaçlı yanma sonucu olduğu belirlenmiştir /ANONİM (1990)/.

Isıtma amaçlı yanma sonucu oluşan hava kirliliğine aşağıdaki parametrelerin neden olduğu tahmin edilmektedir;

- Kentlerde yeşil alan oluşumuna yeterli önemin verilmemesi ve mimari kirlilik oluşumuna göz yumulması,
- Konut ve işyeri amaçlı binaların topoğrafik ve meteorolojik veriler gözönüne alınmadan projelendirilmesi,
- Projelendirilen binalarda "Isı Kaybı" ve "Isı Yalıtımı" faktörlerinin gözönüne alınmaması,
- Binalarda kullanılan merkezi ve özel yakma sistemlerinin dizayn açısından standartlara uygun olmaması,
- Yakma sistemlerinde kullanılan yakıtın, yüksek oranda küllü içermesi,
- Yakma işleminin kurallara uygun ve bu konuda uzman kişilerce yapılmaması.

Endüstriyel gelişimin paralelinde artan yakma işlemine karşın, verimli yakma sistemlerinin ve yüksek kalorifik değere sahip daha az SO₂ içeren yakıtların yakılmasına gereken önemin verilmemesi ve ısı yalıtımının önemini kavranamaması, hava kirliliğinin gittikçe artmasına ve kontrolünün zorlaşmasına sebep olmaktadır.

Yakma sistemlerinde yanmanın enerji ekonomisi ve çevresel etki yönünden uygun bir biçimde oluşturulması; yakıt, yakıcı ve operatör üçlüsü arasındaki gerekli uyumun sağlanabilmesine bağlıdır. Yakma üçgeni (Şekil-2.1) olarak tanımlanan bu sistemin elemanları arasındaki her bir uyumsuzluk ısı üretim verimini azaltmakta ve çevre kirliletiçi emisyonları arttırmaktadır /DURMAZ (1989)/.



Şekil-2.1. Yakma Üçgeni

Yakma sistemi tasarımı, yakıta yönelik olarak yapılmaktadır. Uygun tasarım ve işletme özelliklerinin seçimi, yakıt ve yanma özelliklerinin bilinmesini ve bu özelliklerin yanma mekanizmasına olan etkisini gerekli kılmaktadır /DURMAZ (1991)/.

Genellikle linyitlerimizin düşük ısıl değerli ve yüksek kültür içerikli olmaları ve değişken özellikteki yakıtları değerlendirecek yakıcı tasarımların yokluğu nedeni ile çevre kirlenme potansiyelinin yüksek olduğu görülmüştür /EKİNCİ ve ç.a.(1985)/.

Yanma sonucu oluşan ve atmosfere bırakılan zararlı emisyonların oluşturduğu hava kirliliği üç aşamada azaltılabilir;

- Yanma işleminden önce, yakıtların bazı işlemlerden geçirilerek özellikle toz, mineral madde ve kükürdünden arındırılması,
- Yanma anında; yakıt içine, emisyon azaltıcı katkı maddeleri ilave etmek ve uygun yakma havası göndermek,
- Yakma işleminden sonra meydana gelen duman gazlarının, siklon, filtre ve diğer arıtma sistemleri ile temizlenmesi.

Emisyonların nerede ve nasıl azaltılacağı, emisyonun cinsine ve miktarına, yakıtın ve yakıcının özelliklerine göre belirlenir.

2.1.3. Endüstriyel Tesislerle Oluşan Kirlilik

Sanayi tesisleri kurulurken, yer seçiminde sadece yerleşim, ulaşım, hammadde kaynaklarına yakınlığı açısından özendirici

faktörlere ağırlık verilmesi hava kirliliğinin olumsuz etkilerini arttırmaktadır.

Kurulan ve kurulacak olan sanayi tesislerinin ne miktarda ve ne tür kirletici yayabileceği bellidir. Genelde %1-5 kükürt, %20-30 kül içeren kömürle çalışan termik santrallarda SO₂'nin tamamı, külün %50-90'ı bacadan atılabileceği düşünülürse büyük bir kirlilik oluşturulabileceği ortaya çıkar. /MUEZZİNOĞLU (1987)/.

Endüstriyel tesislerin ve büyük yakma sistemlerinin talimatlara uygunluğu, toz, kükürtdioksit, karbonmonoksit, azotoksit ve diğer kirleticiler sürekli ölçen cihazlarla belirlenerek ve emisyonlar için verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak kontrol altında tutulabilir /DAVID (1985), BITTER (1985)/. Ölçümler için; doğrudan ölçüm metoduna dayanan Gaus Dağılım Modeli, emisyon ve geçmişteki hava kalitesine bağlı Rollbach Modeli ve kirletici yayın şiddeti ve ortalama rüzgar hızına dayanan Basit Alan Kaynağı Modeli sisteme uygunluğu değerlendirilerek kullanılabilir /EMRİ ve ç.a.(1991)/.

Endüstriyel yakma sistemlerinde yapılan ölçümlerde, özellikle SO₂ ve toz emisyonlarının yüksek olduğu belirlenmiştir /ERCAN ve ç.a.(1991)/. Katı yakıtlı kazanlarda, emisyonların yüksekliği, yakıtın kül ve kükürt oranlarının yanında yanma havasının düzensiz olması, kazan-yakıt uyumsuzluğu gibi nedenlere bağlıdır.

3.1.3.1. Endüstriyel Kirleticileri Azaltıcı Çözümler

Kirletici emisyonları azaltmak için tesisin özellikleri gözönünde bulundurulmalıdır. Büyük sistemlerde emisyonları azaltıcı arıtma tesisleri konulabilir. Fakat küçük kapasiteli sistemlerde maliyetinin yüksekliği sebebiyle uygulanamaz. Bu durumda, özellikle yakma tesislerinde kullanılacak olan yakıtın cinsi optimum yanma koşullarını sağlayacak ve hava kirliliğine sebebiyet vermeyecek şekilde seçilmelidir.

Büyük yakma sistemlerinde ve endüstriyel tesislerde

kükürtdioksit oluşumunu azaltmak için;

- Duman gazlarının; kalsiyum, amonyak, sodyum, magnezyum gibi yöntemlerle yıkanması,
- Püskürtme absorpsiyon yöntemi,
- Kuru toplama yöntemi

gibi çözümler kullanılabilir /VETTER (1988), MENIG (1987)/.

Azotoksit oluşumunu azaltmak için;

- Seçici katalitik olan veya seçici katalitik olmayan redüksiyon yöntemi,
- Yanma hacmindeki sıcaklığın düşük tutulması veya basamaklı yanma havası verilmesi

gibi yöntemler kullanılabilir /VETTER (1988), MENIG (1987)/.

Sistemlerde oluşan SO_2 ve NO_x birlikte de ayrılabilir. Bunun için aşağıdaki Şekil-2.2'de küçük ve orta kapasiteli endüstriyel kazanlarda $SO_2 - NO_x$ ayrılması verilmiştir /SPORENBURG (1985)/.

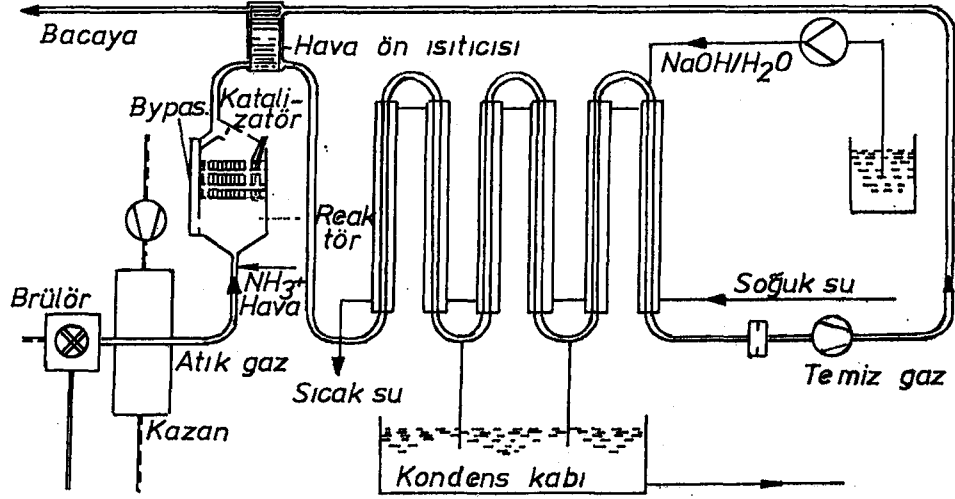
Bu sistemlerde oluşan toz emisyonları ise, ya siklonlarla veya filtrelerle (torba filtre, elektro filtre gibi) tutulabilir.

Endüstriyel tesisler kurulurken, oluşturabileceği kirliliğin yerleşim bölgelerini en az etkileyecek şekilde olmasına ve emisyonlarının yönetmelik ve standartlarda verilen sınır değerlerini geçmemesine dikkat edilmeledir.

2.2. HAVA KALİTESİNİN KORUNMASI

Modern yaşantımızın ve gelişmenin bir sonucu olarak kirlenen hava solunduğunda insan sağlığına ve doğaya zarar verdiği bilinen bir gerçektir. Bir bölgenin hava kirliliğinin etkisi altında kalması, hava kalitesinin kötüleşmesi anlamına gelir.

Hava kirliliğinin zararlı etkilerinden dolayı hava kalitesinin korunması gereği ortaya çıkmıştır.



Şekil-2.2. Küçük-orta kapasiteli endüstriyel kazanlarda SO₂-NO_x ayırma sistemi

2.2.1 Hava Kalitesini Koruma Çalışmaları

Büyük şehirlerde ve endüstriyel bölgelerde ortalama topografik yapı ve meteorolojik durum iyi olsa bile yer yer veya zaman zaman hava kirlenmesi problemi ortaya çıkmaktadır. Toplumun, bu durumun bilincine varması sonucu yasal düzenlemelere gitme gereği güncellik kazanmaktadır.

Dünyada, özellikle endüstriyel alanda gelişmiş ülkeler hava kalitesini korumak için çeşitli yönetmelikler çıkararak yasal düzenlemelere gitmektedirler. Ülkemizde de 9 Ağustos 1983'de kabul edilen 2872 Sayılı Çevre Kanunu yürürlüğe girmiştir. Hava kalitesi ile ilgili sorunlar arttıkça bu Kanun'un yetersiz kaldığı belirlenmiş ve 2 Kasım 1986'da 19269 Sayılı Gazete'de yayınlanan, konuyu teknik olarak ele alan "Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği" yayınlanmıştır.

Adı geçen yönetmeliğin amacı:

Her türlü faaliyet sonucu atmosfere yayılan ısı, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki emisyonları kontrol altına almak; insanı ve çevresini hava alıcı ortamındaki kirlenmelerden doğacak tehlikelerden korumak; hava kirlenmeleri sebebiyle çevrede ortaya çıkan umuma ve komşuluk münasebetlerine zarar veren olumsuz etkileri gidermek ve bu etkilerin ortaya

çıkmasını sağlamaktır / ANONİM (1986) /.

Ülkemizde hala geçerli olan bu yönetmelikle, hava kalitesi ile ilgili hükümler belirlenmektedir. Bu yönetmelikle belirlenemeyen durumlar Almanya'da çıkarılan, havanın temizlenmesi ile ilgili teknik şartnameleri içeren " TA Luft" /HANSMANN (1987)/ ile çözüme kavuşturulabilir. TA Luft'da hava kalitesi ile ilgili daha detaylı bilgi bulmak mümkündür.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), hava kalitesi ile ilgili yaklaşık 150 standart üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Bu standartların ana başlıkları:

- Hava kirliliği ölçme metotları, taşıtlarda emisyon sınır değerleri ve kabul deneyleri,
- Doğal gaz numune alma deney metotları ve tesisat projelendirme kuralları,
- Petrol ve petrol ürünlerinde numune alma ve deney metotları,
- Kömürler, numune alma ve deney metotları,
- Soba ve kazanlar, işletme, muayane, bakım ve tesisat kurallarıdır / YENİAY (1991) /.

Hava kalitesinin korunmasında, diğer ülke standartları ile karşılaştırıldığında, Türkiye'de teknolojik seviye, ülkenin sosyal ve ekonomik şartları düşünülerek, çok daha yumuşak emisyon standartlarına gidilmiştir /YILMAZ (1991)/.

Atmosfere atılan kirlenici bileşenlerin konsantrasyonlarını üç yerde ölçmek mümkündür:

- 1 - Kirlenici bileşenleri üreten kaynağın atmosfere açılan bacası (MEK : Maksimum Emisyon Konsantrasyonu).
- 2 - İşyeri veya mesken atmosferi (MAK : Nefes alma yüksekliğinde ölçülen maksimum konsantrasyondur).
- 3 - Çevre havası (MİK : Genellikle yeryüzünden, bitkilerin üst yüzeyinden veya binaların üst yüzeyinden 1.5 metre yükseklikte ölçülen kirlenici maddelerin etkili oldukları yerlerin yakınındaki maksimum konsantrasyondur) / BORAT (1983)/.

2.2.2. Emisyon Sınır Değerleri

insan sağlığının korunması, çevrede kısa ve uzun vadeli olumsuz etkilerin ortaya çıkmaması için atmosferdeki hava kirleticilerin; bir arada bulduklarında, değişen zararlı etkileri de gözönüne alınarak konsantrasyon birimleri tesbit edilmiştir.

TA LUFT'ta ve 19269 sayılı Resmi Gazete'de çok değişik alanlarda oluşan emisyonlar için sınır değerleri verilmiştir. Bu kısımda sadece kömür yakan ısı üretim sistemlerinde oluşan emisyonlar için sınır değerleri verilmiştir.

Emisyonların değeri (2.1) eşitliğine göre hesaplanır:

$$E_B = \frac{21 - O_B}{21 - O_M} E_M \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte;

E_B = Emisyon değeri

O_B = Çekilen oksijen yüzdesi

O_M = Ölçülen oksijen yüzdesi

E_M = Ölçülen emisyon değeri

Isıl kapasitesi 50 MW'tan az olan, kömür yakan yakma sistemlerinde duman gazındaki emisyon değeri %7 Oksijen (O_B) ile belirlenir /HANSMANN (1987)/.

2.2.2.1. Toz Emisyonu Sınır Değerleri

Çürük gazdaki toz şeklindeki anorganik olmayan emisyonlara;

a - 5 MW veya daha büyük ısı kapasiteli yakma sistemlerinde 50 mg/m³'e kadar.

b - 5 MW' tan daha küçük ısı kapasiteli yakma sistemlerinde 150 mg/m³'e kadar izin verilebilir / ANONİM (1986);

HANSMANN (1987)/.

Çürük gazdaki toz şeklindeki anorganik emisyonlara;

a - Isıl kapasitesi, 50 MW veya daha fazla olan

sistemlerde (I. sınıf), kadmiyum, civa, talyum ve bunların bileşiklerinin 0.2 mg/m^3 'ü,

b - Isıl kapasitesi, 5 - 50 MW arası olan sistemlerde (II. sınıf), arsen, kobalt, nikel, selen, tellur ve bunların bileşiklerinin 1 mg/m^3 'ü,

c - Isıl kapasitesi, 5 MW veya daha az olan sistemlerde (III. sınıf), antimon, kurşun, bakır, mangan, platin, palledium, rhodium, vanadyum, kalay ve bunların bileşiklerinin 5 mg/m^3 'ü aşmasına izin verilmez /HANSMANN (1987), KALMBACH (1986)/.

2.2.2.2. Islilik Emisyonu Sınır Değerleri

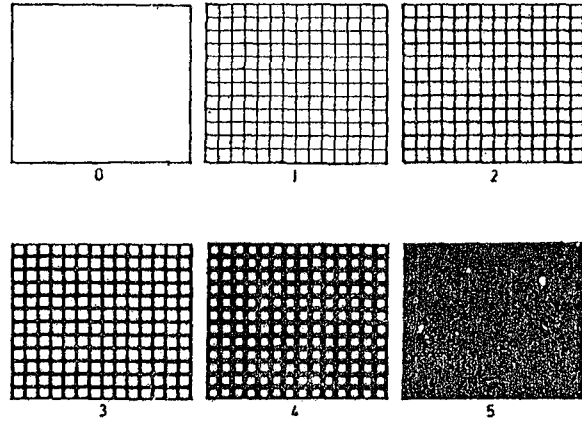
İslilik değerlerinin belirlenmesinde genellikle Ringelman ve Bacharach karşılaştırma skalaları kullanılmaktadır (Şekil 2.3 ve 2.4). Her iki skala da bütün yakmalarda kullanılabilirdiği halde, Ringelman skalası katı yakıtlı, Bacharach skalası ise sıvı veya gaz yakıtlı yakma sistemlerinde kullanılmaktadır.

Kömür yakan sistemlerde baca gazlarındaki isliliğin derecesi Ringelman Skalasına göre 2 veya daha küçük, Bacharach Skalasına göre 6 veya daha küçük tutulur / ANONİM (1987), HANSMANN (1987).

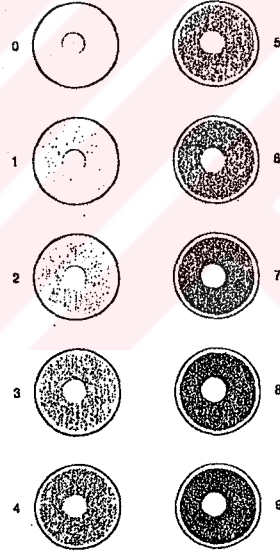
Eski sistemlerde, yukarıda belirtilen islilik sınır değerlerine skalalarda 1 ilave edilir.

2.2.2.3. Karbonmonoksit Emisyonu Sınırı

Çürük gazdaki karbonmonoksit emisyonununun 0.25 g/m^3 'ü aşmasına izin verilmez. Bu emisyon değeri, nominal yükte çalışmada ve yanma ısıl gücü 2.5 MW' tan az olan yakmalarda geçerlidir /HANSMANN (1987)/. Sistemin ısıl kapasitesi yükseldikçe, yukarıda belirtilen emisyon sınır değerinde o derece düşük olması gerekir.



Şekil-2.3. Ringelman Isililik Karşılaştırma Skalası



Şekil-2.4. Bacharach Isililik Karşılaştırma Skalası

2.2.2.4. Azotoksit Emisyonu Sınır Değerleri

Çürük gazdaki NO ve NO₂ emisyonlarının ısı kapasitesi 20 MW'tan fazla olan stasyoner akışkan yataklı veya sirkülasyonu akışkan yataklı yakma sistemlerinde 0.30 g/m³'ü aşmasına izin verilmez (özel yakma sistemlerinde 0.5 g/m³) / ANONİM (1987)/. Özel yakma sistemlerinde azotoksit emisyonları yakma tekniğinde alınan önlemlerle mümkün olduğunca azaltılmalıdır.

2.2.3.5. Kükürtdioksit Emisyonu Sınır Değerleri

Çürük gazdaki kükürtdioksit ve kükürttrioksit miktarları akışkan yataklı yakma sistemlerinde 0.40 g/m^3 'ü, kömür kullanılan özel yakma sistemlerinde 2 g/m^3 'ü aşmamalıdır /ANONİM (1987), HANSMANN (1987)/.

2.3 IZGARALI SİSTEMLERDE YANMA

Yanma, yakıt içerisindeki yanabilir elemanların havanın oksijeni ile hızlı kimyasal birleşmesi olayıdır. Yakıt içerisinde bulunan karbon, hidrojen ve hidrokarbonlar yanabilir elemanlardır. Fosil kökenli yakıtlarda genelde bulunan kükürt yakıtın ısıl değerini az miktarda arttırmasına rağmen, yanma sonucu oluşan zararlı emisyonlarından dolayı istenmez.

Kömürdeki yanabilir bileşenlerin yanma reaksiyonları Çizelge-2.4'deki denklemlerle verilmiştir /ONAT (1988)/.

Genel olarak, bir ızgaralı yakma sisteminde kömürün yanma dengesi Şekil-2.5'te şematik olarak verilmiştir.

2.3.1 Kömürün Yanma Özellikleri

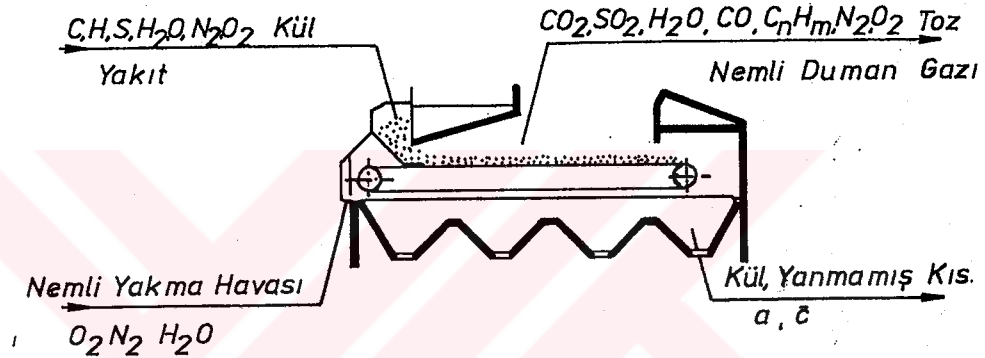
Bir kömür taneciği, yanmayan madde kısımları, sabit karbon ve uçucu madde kısımlarından oluşmaktadır (Şekil-2.6).

Yanma sırasında uçucu madde çıkışı başlar. Bu çıkış sırasında kömür taneciklerinin çoğu şişer. Şişme indirgeyici ve nötr ortamlarda $700 \text{ }^\circ\text{C}$ civarında en yüksek değerine ulaşır.

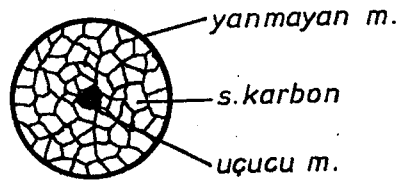
Kömürün yanmasında gözönüne alınan gaz bileşenleri (O_2 , CO_2 , H_2O , H_2), kimyasal bağlar oluşturmak üzere yüzeye bağlanırlar. Kömür yüzeyinde meydana gelen yanma, gaz fazındaki bileşenlerin yüzeye adsorpsiyonu, kimyasal tepkime ve ürünlerin desorpsiyonu adımlarından oluşmaktadır /ARISOY (1990)/. Kömür içinde bulunan karbon dışındaki bir takım yabancı maddelerin katalitik etkileri olmaktadır. Özellikle kalsiyum, demir gibi maddeler yüzeyde aktif merkezler olarak rol oynamakta ve gazların adsorpsiyonuna geniş ölçüde

Çizelge-2.4. Kömürdeki yanabilir bileşenlerin yanma reaksiyonları

Bileşen	Mol Kütle Kg/Kmol	Reaksiyon	Reaksiyon ısısı Kj/Kg
Karbon	12	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	32796
		$C + (1/2)O_2 \rightarrow CO$	9210
Hidrojen	2	$H_2 + (1/2)O_2 \rightarrow H_2O$	141886
Kükürt	32	$S + O_2 \rightarrow SO_2$	9800



Şekil-2.5. Izgaralı sistemlerde kömürün yanma dengesi /MULLER (1986)/



Kömür taneciği

Şekil-2.6. İdealleştirilmiş kömür taneciği /ARISOY (1987)/

yardımcı olmaktadır. Bu nedenle kömür kokunun reaktivitesi saf karbona göre daha fazladır /ARISOY (1990)/.

Bir kömür taneciğinin yanması olayı, tanecik çapına ve kömür reaktivitesine bağlı olarak üç ayrı tavır gösterebilir:

- Düşük sıcaklıklarda ve küçük taneciklerde yüzey tepkimelelerinin hızı, iç ve dış difüzyon hızına göre çok düşükse, yanma olayını sadece yüzey tepkime hızları kontrol eder. Bu durumda oksijen kömürün en iç noktasına kadar yayılabilir

ve dengeye ulaştığında bütün kömür taneciği hacminde gaz derişikliklerin sabit olduğu yanma olayı meydana gelir. Bu durumda tanecik bir bütün halinde yanarak küle dönüşür.

- Sıcaklık yükseldikçe tepkime ile tüketilen oksijen miktarı difüzyonla gelenden daha fazla olacağından, oksijen tanecik merkezine ulaşamaz. Ortada tepkime olmayan çekirdeğin olduğu bu durumda yanma hızını oksijenin poroz ortamdaki iç difüzyon hızı kontrol eder.
- Daha yüksek sıcaklıklarda ve daha büyük taneciklerde yanma tepkimesi taneciğin dış yüzeyine kadar geriler ve yanma olayı sınır tabaka difüzyon hızı ile kontrol edilir. Bu durumda kömür sadece dış yüzeyde yanar ve zamanla yanma nedeni ile tanecik çapı küçülür /ARISOY (1990)/.

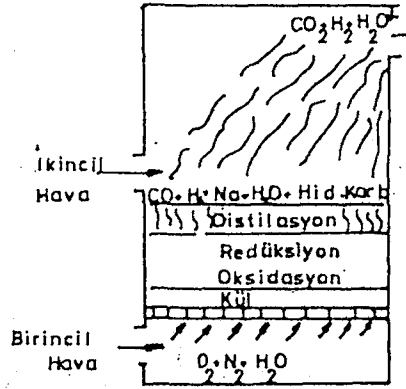
2.3.2. Sabit Yataklarda Yanma

Sabit yataklarda, kömürün besleme şekline göre farklı yanma olayı meydana gelmektedir.

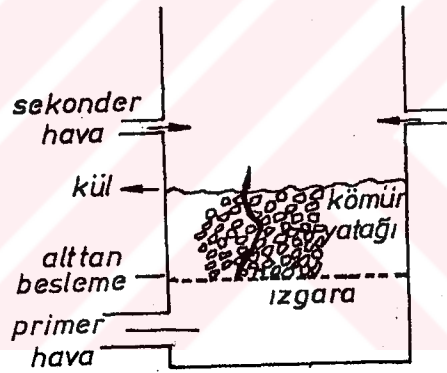
Üstten beslemeli yataklarda, ızgara üzerindeki kömür tabakasına hava ya alttan birincil hava olarak veya üstten ikincil hava olarak verilir. Yatağa beslenen taze kömür önce ısınır, uçucu madde çıkar; geriye ızgara üzerinde kok kalır. Bu kok da CO₂, CO verecek şekilde yanar ve sadece kül kalır. Şekil-2.7'de üstten beslemeli bir yatak şematik olarak gösterilmiştir. Uçucu madde çıkışı (distilasyon), redüksiyon, oksidasyon ve kül tabakalarından oluşur.

Alttan beslemeli yataklarda; yakıt alttan, yakma havası da ya alttan veya üstten verilebilir (Şekil-2.8). Yatakta bölgeler aşağıdan yukarıya doğru distilasyon, oksidasyon, indirgenme ve kül bölgesi olarak değişmektedir. Düşük uçuculu kömürlerin alttan besleme ile yakılması çok güçtür. Üstten beslemede olduğu gibi cüruf oluşumu yanma dengesini bozar ve tıkanmalara neden olur.

Yataklara sadece birincil veya sadece ikincil hava verilmesi yanmayı zorlaştırmaktadır. Yanmanın iyi olması için her iki yakma havasının da uygun oranlarda verilmesi gerekmektedir.



Şekil-2.7. Üstten beslemeli yakıt yatağının şematik gösterimi /ARISOY (1990)/



Şekil-2.8. ideal alttan beslemeli yatak /ARISOY (1987)/

2.3.3. Yanma Kayıpları

Yanma sırasında, çeşitli nedenlerle CO , H_2 , C gibi eksik yanma ürünleri açığa çıkmaktadır. Bu nedenler üç grup altında toplanabilir;

- Yakıtın yanma odasını tam yanma olmadan terk etmesi; kömürdeki rutubete, ızgara yüküne, tanecik yapısına, kömürün kavrulma özelliğine bağlı olarak, yanma havası kömür partiküllerini bacaya sürüklemesi veya tanecik boyutları ile ızgara aralığının iyi ayarlanamamasından dolayı ızgara aralarından yakıtın yanmadan düşmesi /LEDINEGG (1966)/.
- Tam yanmayı sağlayacak zaman yetersizliğinden; aşırı yükleme veya yanma odasının çok küçük boyutlandırılmış

olmasından dolayı eksik yanmanın meydana gelmesi /LEDINEGG (1966)/.

- Yakıt-yakma havası karışımının iyi olmamasından; yakma havasının gereğinden az verilmesi veya kömürün cürufunun taneceği kaplayarak hava ile temasını kesmesi sonucu eksik yanma meydana gelmektedir /LEDINEGG (1966)/.

Sobalarda, yanma sırasında veya duman gazlarında ısı kayıpları meydana gelmektedir. Bu kayıplar:

- 1- Baca gazı duyulur ısı kaybı;

$$Q_A = |c_{pm} \frac{c - c_r}{0.536(CO_2 + CO)} + 0.46 \left(\frac{9H + H_2O}{100} \right) | (t_a - t_1) \quad (2.2)$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada;

c_{pm} : Kuru baca gazları özgül ısısını (Şekil-2.9),

c : Ağırlık cinsinden deney yakıtının karbon yüzdesini (%),

c_r : Ağırlık cinsinden deney sonundaki kül ve diğer artıklarındaki karbon miktarının yüklenen yakıt miktarına oranını (%),

CO_2, CO : Hacim cinsinden baca gazındaki oranını (%),

H : Ağırlık cinsinden deney yakıtındaki hidrojen oranını (%),

H_2O : Ağırlık cinsinden deney yakıtındaki su oranını (%),

t_a : Baca gazı sıcaklığını ($^{\circ}C$),

t_1 : Deney odası sıcaklığını ($^{\circ}C$)

göstermektedir /TS 4900 (1986)/.

- 2- Baca gazlarındaki eksik yanma kaybı;

$$Q_B = 3020 (CO + H_2) \frac{c - c_r}{0.536 (CO_2 + CO) 100} \quad (2.3)$$

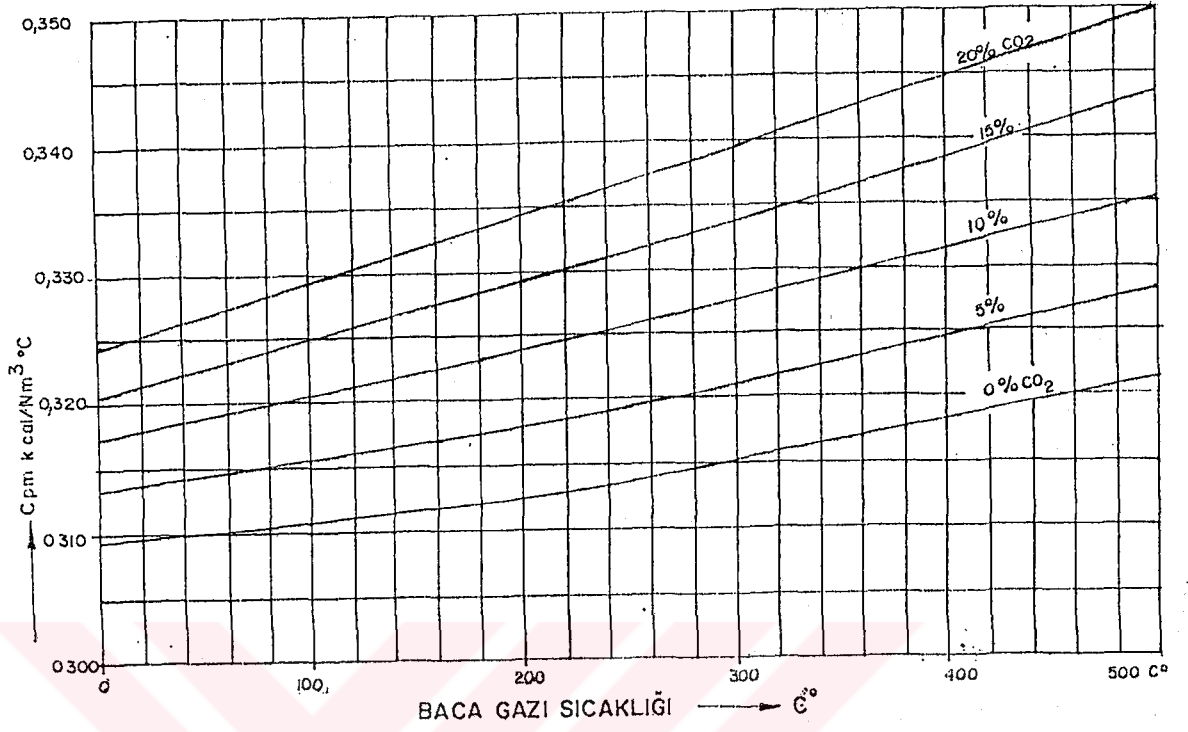
Burada;

Q_B : Baca gazlarındaki eksik yanma kaybını (Kcal/kg),

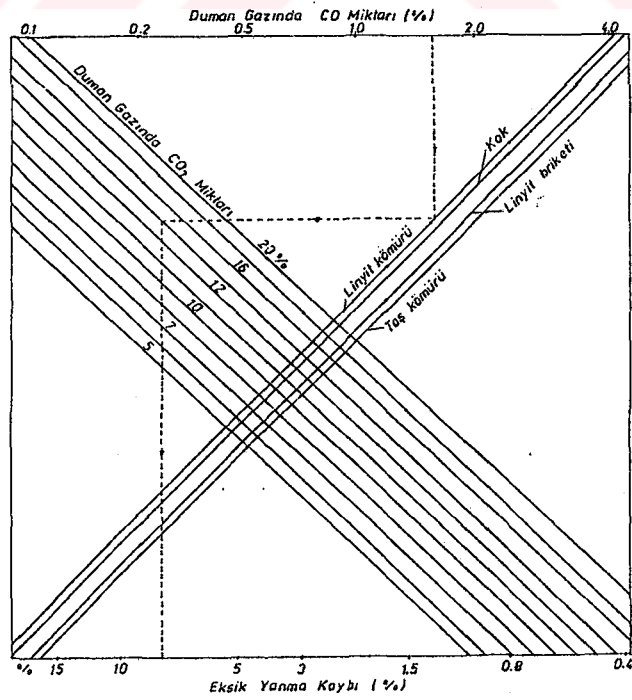
CO, H_2 : Hacim cinsinden baca gazındaki yanmamış gazların oranını (%)

göstermektedir /TS 4900 (1986)/.

Burada genellikle CO kaybı (Şekil-2.10) gözönüne alınır. CO kayıp oranı olarak;



Şekil-2.9. Kuru baca gazının ortalama özgül ısısı



Şekil-2.10. Duman gazındaki CO'dan dolayı kayıplar/LEDINEGG (1966)/

$$\sigma_{CO} = \frac{3020 (CO)}{Hu} \frac{C}{0.536 (CO_2 + CO)} (\%) \quad (2.4)$$

eşitliği kullanılabilir.

3- Kül ve diğer artıklardaki yanmamış yakıt kaybı (Q_{FR});

$$Q_{FR} = \frac{b.R.80}{100} \quad (\text{Kcal/kg}) \quad (2.5)$$

Burada:

b : Ağırlık cinsinden kül ve diğer artıklardaki karbon oranını (%),

R : Ağırlık cinsinden kül ve diğer artık miktarının, yüklenen yakıt miktarına oranını (%)

göstermektedir /TS 4900 (1986)/.

Toplam ısı kaybı;

$$Q_k = Q_A + Q_B + Q_{FR} \quad (2.6)$$

Verim;

$$\eta_c = \frac{Q_Y - Q_k}{Q_Y} 100 (\%) \quad (2.7)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir. Burada;

Q_Y : Deney süresince yüklenen yakıt ile yakıtın alt ısı değerinin çarpımıdır.

2.3.4. Yanma Hesapları

Kömürün yanması son derece karmaşık bir olaydır. Bunun için hesapların teori ile yapılması mümkün değildir. Ancak bazı basitleştirici kabuller altında yanmanın modellenmesi ve çözümü mümkün olabilmektedir.

Katı yakıtlarda madde bilançosu için elemanter analiz yeterli gelmektedir. Yakıtı oluşturan elementlerin kimyasal yapıları değil madde kısımları gözönünde bulundurulur /ELSNER (1980)/.

Yakıtın elemanter analizinden;

$$c + h + s + o + n + w + a = 1 \quad (2.8)$$

alınabilir /BOSNJAKOVIC (1972), ELSNER (1980)/.

2.3.4.1. Yakıtın Isıl Değeri

Yakıtın, elemanter analizi biliniyorsa Çizelge-2.4'de verilen yanabilir bileşenleri olan karbon, hidrojen ve kükürt gözönüne alınarak üst ısıl değeri;

$$H_o = 32796 C + 141886 (H - O/8) + 9800 S \quad (\text{Kj/kg}) \quad (2.9)$$

eşitliği ile, alt ısıl değeri ise;

$$H_u = H_o - 2440 W \quad (\text{Kj/kg}) \quad (2.10)$$

eşitliğinden bulunabilir.

2.3.4.2. Gerekli Yakma Havası

Yapılan yaklaşımlar sonucunda gerekli minimum yakma havası;

$$V_{YH-\min} = \frac{100}{21} \left(\frac{22.4}{12} C + \frac{11.2}{2} (H - O/8) + \frac{22.4}{32} S \right) \quad (2.11)$$

eşitliği ile bulunabilir. Burada C,H,O,S yakıtın kütle kısımlarıdır.

Yakma fazla hava ile yapılırsa, gerekli yakma havası;

$$V_{YH} = \lambda . V_{YH-\min} \quad (\text{Nm}^3/\text{kg}) \quad (2.12)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Izgaralı elle beslemeli yakma sistemlerinde $\lambda = 1.6 - 2.0$ arasında alınır /ARISOY (1990)/.

Yakıtın alt ısıl değerinin (H_u (Kj/kg)) bilinmesi halinde yakma havası için deneysel bağıntı;

$$V_{YH-\min} = 0.241 \frac{H_u}{1000} + 0.5 \quad (\text{Nm}^3/\text{kg}) \quad (2.13)$$

kullanılabilir (/MULLER (1986)/'a göre:

$$V_{YH-\min} = 0.241 \frac{H_u + 2300}{1000} \quad \text{formülü ile hesaplanabilir}).$$

2.3.4.3. Yanma Ürünleri

Kömürün yakılması ile oluşan yanma ürünleri; CO₂, SO₂, H₂ ve N₂ olacaktır. Yakıtın elemanter analizinin bilinmesine göre yanma ürünleri hacimleri;

$$V_{CO_2} = \frac{22.4}{12} C, \quad V_{SO_2} = \frac{22.4}{32} S,$$

$$V_{Su} = \frac{22.4}{2} H + \frac{22.4}{18} W, \quad V_n = 0.79 V_{YH-min} + \frac{22.4}{28} N$$

(2.14)

eşitlikleri ile hesaplanabilir.

Yanma ürünlerinin toplamı duman gazı hacmini vermektedir. Minimum duman gazı hacmi (Nm³/Kg);

$$V_{DG-min} = 8.89C + 21.1(H - O/8) + 3.34S + 0.8N + (W + 9H)$$

(2.15)

Yakma fazla hava ile yapılıyorsa;

$$V_{DG} = V_{DG-min} + (\lambda - 1) \quad (Nm^3/Kg)$$

(2.16)

eşitliği ile hesaplanabilir.

Yakıtın alt ısıl değerinin (Hu (Kj/Kg)) bilinmesine göre duman gazı hacmi için deneysel bağıntı;

$$V_{DG-min} = 0.227 \frac{Hu}{1000} + 1.375 \quad (Nm^3/Kg)$$

(2.17)

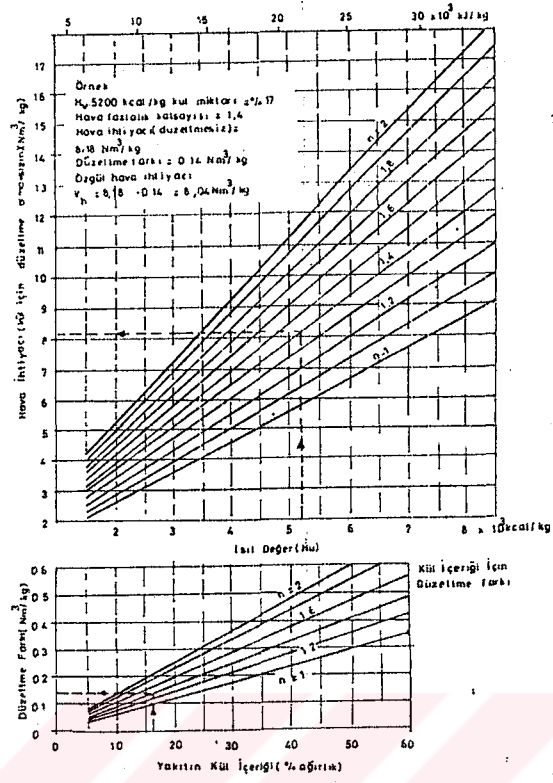
eşitliği ile verilmiştir (/MULLER (1986)'e göre;

$$V_{DG-min} = 1.17 + 0.216 \frac{Hu + 2300}{1000} \text{ eşitliği ile bulunur).}$$

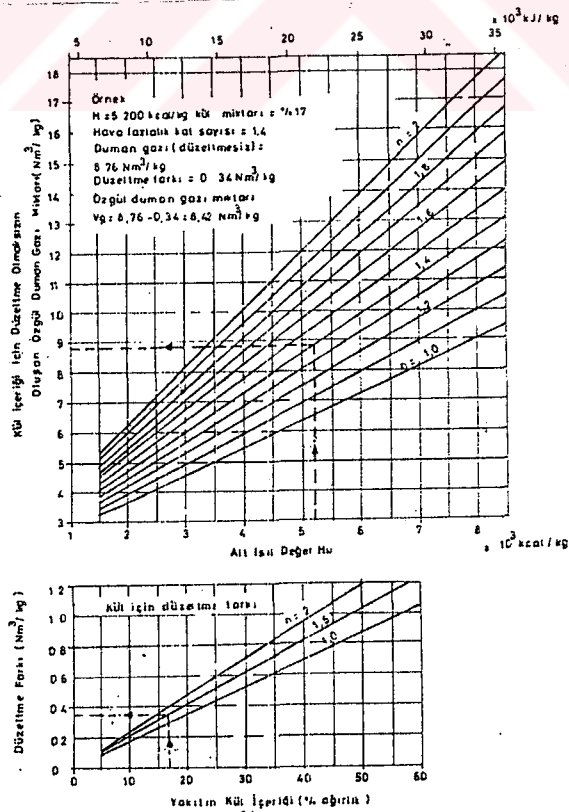
Fazla hava ile yakma yapılmasına göre gerekli yakma havası miktarı ve duman gazı miktarı Şekil-2.11 ve Şekil-2.12'de verilmiştir /ONAT (1988)/.

2.3.5. Yanma Diyagramları

Yanmanın nasıl cerayan ettiği hakkında karar verebilmek için ve gerekli düzenlemeleri yapabilmek için yanma diyagramları



Şekil-2.11 Kömürlerin yakılmasında gerekli yakma havası



Şekil-2.12 Kömürlerin yakılmasında oluşan duman gazı miktarı

çizilmiştir. Bunun için genellikle OSWALD, BUNTE veya AKKERMANN yanma üçgenleri kullanılır.

Oswald Yanma Üçgeni'nde; CO_2 , O_2 , CO ve hava fazlalığı (λ) parametrelerine bağlı olarak çizilir (Şekil-2.13). Çizimi yapabilmek için CO_{2max} ve CO_{max} değerleri yakıtın elementer analizine göre aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$V_{CO_2} = 1.867 C \quad (2.18)$$

$$V_{DG-min(kuru)} = 1.867 C + 0.7 S + 3.76 O_{min} \quad (2.19)$$

$$CO_{2(max)} = \frac{V_{CO_2}}{V_{DG-min(kuru)}} \quad (\%) \quad \text{veya}$$

$$CO_{2max} = \frac{21 \cdot CO_{2(ölçülen)}}{21 - O_{2(ölçülen)}} \quad (2.20)$$

$$V_{CO_{eksik}} = V_{CO_2} \quad (2.21)$$

$$V_{DG-min(eksik)} = V_{DG-min} + 0.984 C \quad (2.22)$$

$$CO_{max} = \frac{V_{CO(eksik)}}{V_{DG-min(eksik)}} \quad (\%) \quad (2.23)$$

Bunte tarafından hazırlanan yanma üçgeni; CO_2 , $CO_2 + O_2$, ve CO parametrelerine bağlıdır (Şekil-2.14).

Şekil-2.14'den CO yüzdesi,

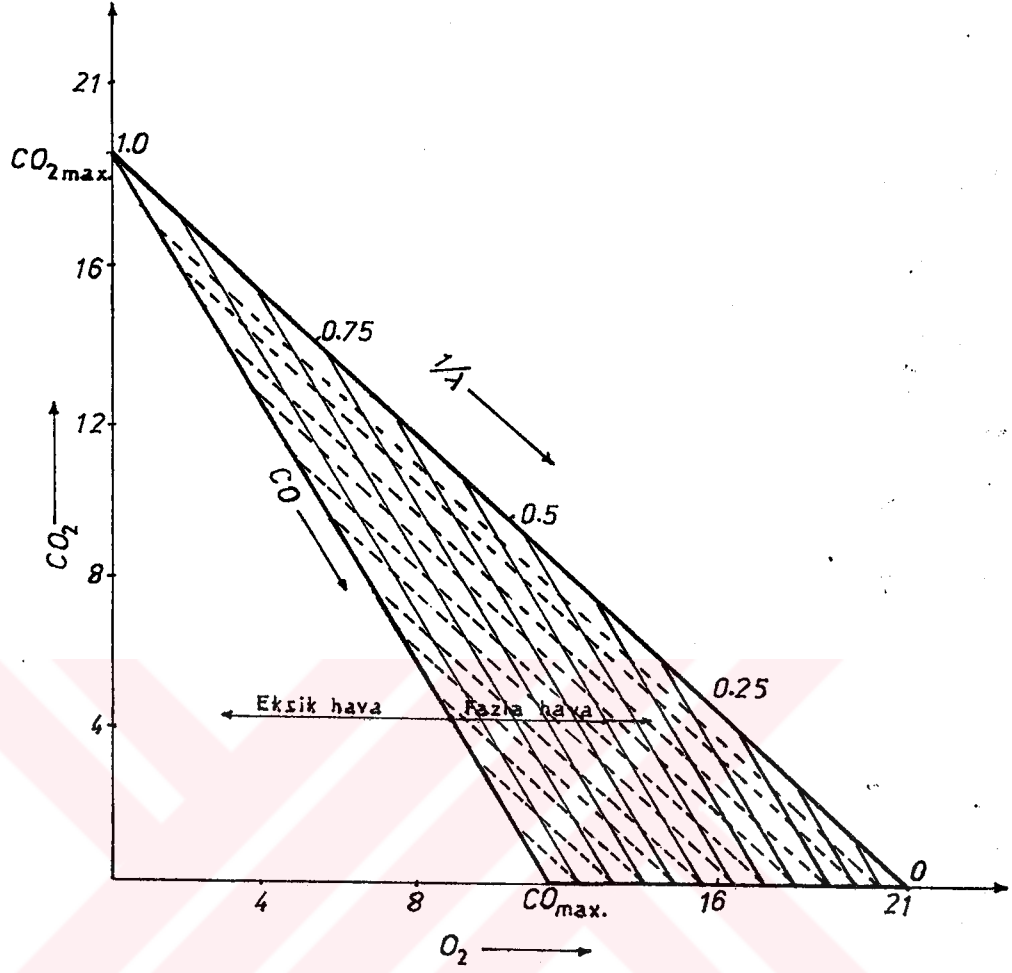
$$CO = \frac{1}{\lambda} S \quad (2.24)$$

eşitliğinden bulunabilir /LEDINEGG (1966)/.

ACKERMANN, özellikle is ve karbon kaybını gösteren C parametrelili yanma üçgenlerini geliştirmiştir /BORAT (1983)/.

2.4. YAKMA SİSTEMLERİ

Yakma sistemleri, yakıt tane büyüklüğüne ve yanma sırasında yakıt davranışına bağlı olarak yüzeyde, akışkanlaştırılmış ortamda ve hacimde yakma olmak üzere üç gruba ayrılabilir (Şekil-2.15).



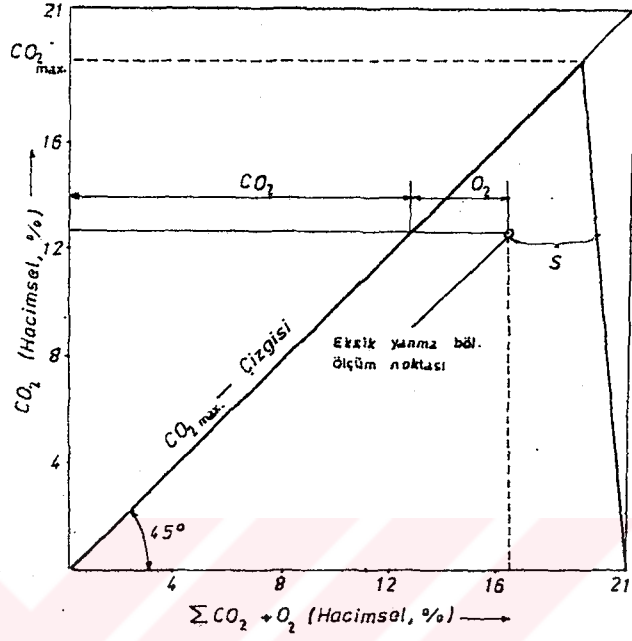
Şekil-2.13 Oswald Yanma Üçgeni

2.4.1. Izgaralı Yakma Sistemleri

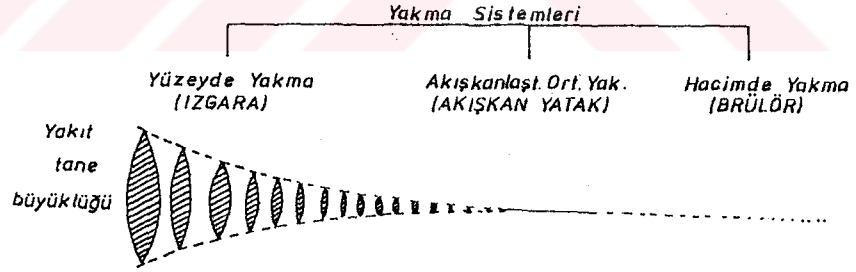
Yakıt olarak genelde kömür kullanılan yakma sistemleridir. Izgara hareketi ve yakıt yükleme durumuna göre gruplandırılabilirler (Şekil-2.16).

Konutların ısıtılmasında kullanılan katı yakıtlı soba ve kalorifer sistemleri sabit ızgaralı ve genelde elle beslemeli yakma sistemleridir.

Sobalar, küçük yapılarda lokal ısıtma amacıyla kullanılır. Konveksiyon ve radyasyon yolu ile iletilen ısı miktarının dağılımı, sobanın konstrüksiyon tarzına ve dış yüzeylerinin sıcaklık durumuna göre farklılık gösterir. Isıtılacak mahaldeki sıcaklık dağılımı düzensizdir. Bundan kaçınmak da mümkün değildir (Şekil-2.17). İmal edilen sobalar, minimal verim



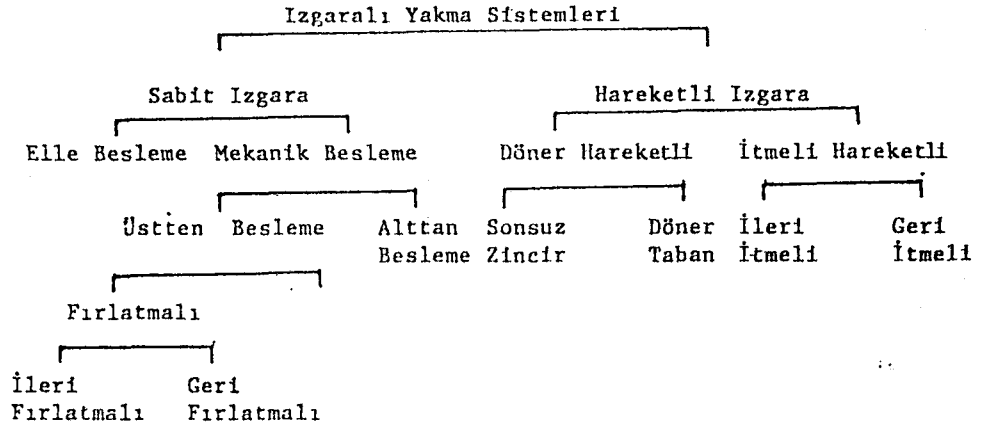
Şekil-2.14 Bunte Yanma Üçgeni



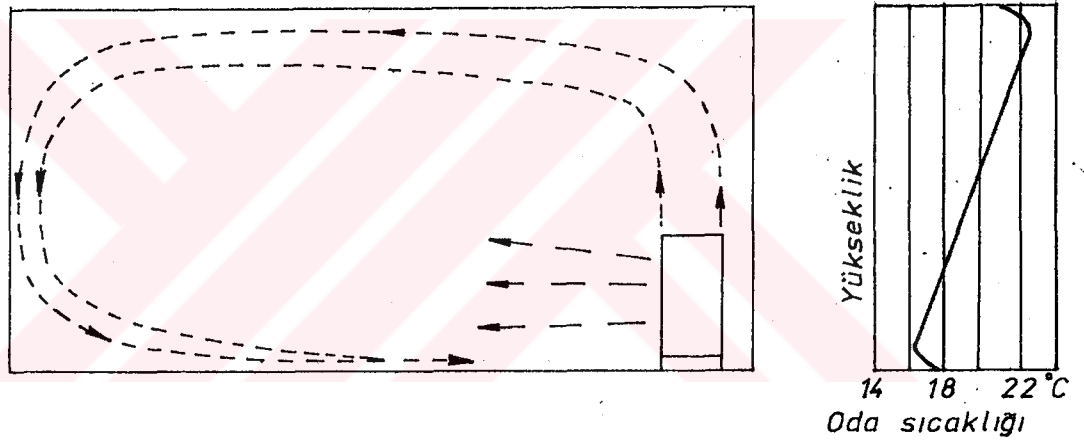
Şekil-2.15. Yakma Sistemleri /DURMAZ (1991)/

şartlarında testlere tabi tutulmalıdır. Yakma havası, yanma bölgesine düzenli olarak girmelidir. Üstten yakma, alttan yakmaya göre daha avantajlıdır. Çünkü, alttan yakmada üstteki kısımlarda yanmamış karbon ve eksik yanma ürünü CO çok miktarda oluşur. Bu da yanma verimini çok düşürür.

Kalorifer, genelde çok katlı binalarda merkezi ısıtma amacıyla kullanılır. Hem enerjinin optimal kullanımı hem de daha az kirlilik oluşturmasından dolayı linyit kömürünün kazanlarda " Yastıklama Yakma Yöntemi " ile yakılması önerilmektedir



Şekil-2.16. Izgaralı Yakma Sistemleri /DURMAZ (1991)/



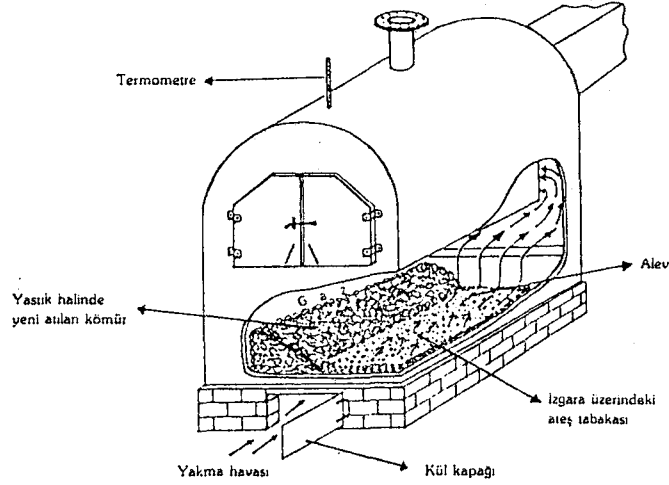
Şekil-2.17. Bir mahalın soba ile ısıtılması /RIETSCHEL(1973)/

(Şekil-2.18) /ANONİM (1987)/. Bu durumda yanıcı gazların dışarıdan gelen havayla karışarak, alevle yanıp dışarıya atılması, is ve kurum çıkarmayacak tarzda yanma oluşturulur.

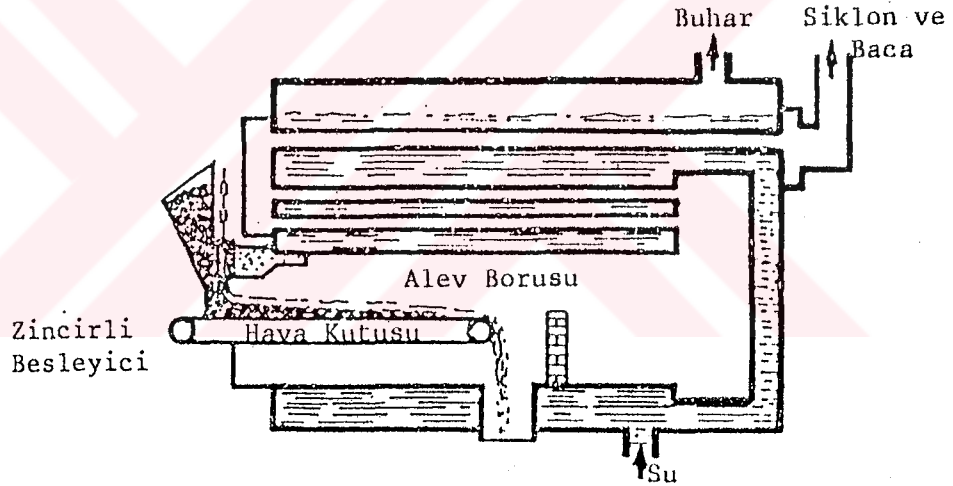
Diğer tip ızgaralı yakma sistemleri genelde endüstriyel tesislerde kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekilde (Şekil-2.19) sonsuz zincirli besleyicili duman borulu stoker görülmektedir.

2.4.2 Akışkan Yatakta Yakma Sistemleri

Akışkan yatakta yanma, yakıt taneciklerinin hava ile akışkanlaştırılmış ve tutuşma sıcaklığının üstündeki bir sıcaklığa



Şekil-2.18. Kömürlü kalorifer kazanının Yana Yastıklama Yöntemi ile yakılması



Şekil-2.19. Duman borulu stoker /ATAKAN (1987)/

kadar ısıtılmış olan kum, kül ve benzeri inert maddelerden oluşmuş bir ortamda yanması şeklinde gerçekleşmektedir. %1'lik bir yakıt oranı, akışkan yatakta yanmanın kararlı halde devamı için yeterlidir. Çünkü akışkan yataklarda, yakıt/inert madde oranı çok küçük olduğundan sistemdeki yanma süreci yakıtın özelliklerine (kum, nem, v.b.) bağlı değildir. Yüksek oranda inert maddenin karışması ile oluşan türbülans, yakıt taneciklerinin yanması sonucu açığa çıkan ısının hızla yatağa yayılmasını ve homojen bir sıcaklık dağılımının oluşmasını sağlamaktır. Yatakta işlem sıcaklığı

800 - 1000 °C olduğundan NO_x oluşumu önlenmektedir. Yatak malzemesi içine ilave edilen kireçtaşı ve dolomit ile SO₂ çıkışı önlenmektedir /EKİNCİ (1990)/. Akışkan yataklı yanma sürecinin alt sınırını yakıtın tutuşma sıcaklığı ile kararlı yanmanın sürdürülmesi koşulları, üst sınırını ise aglemerasyon olayı belirlemektedir /ÖZYAMAN (1986), UYSAL (1991)/.

Şekil-2.20'de; yatak, yatak malzemesi silosu, akışkanlaştırıcı gövde, siklon, fan, 2. ve 3. akışkanlaştırıcılardan oluşan bir akışkan yataklı yakma sistemi verilmiştir.

2.4.3. Hacimde Yakma Sistemleri

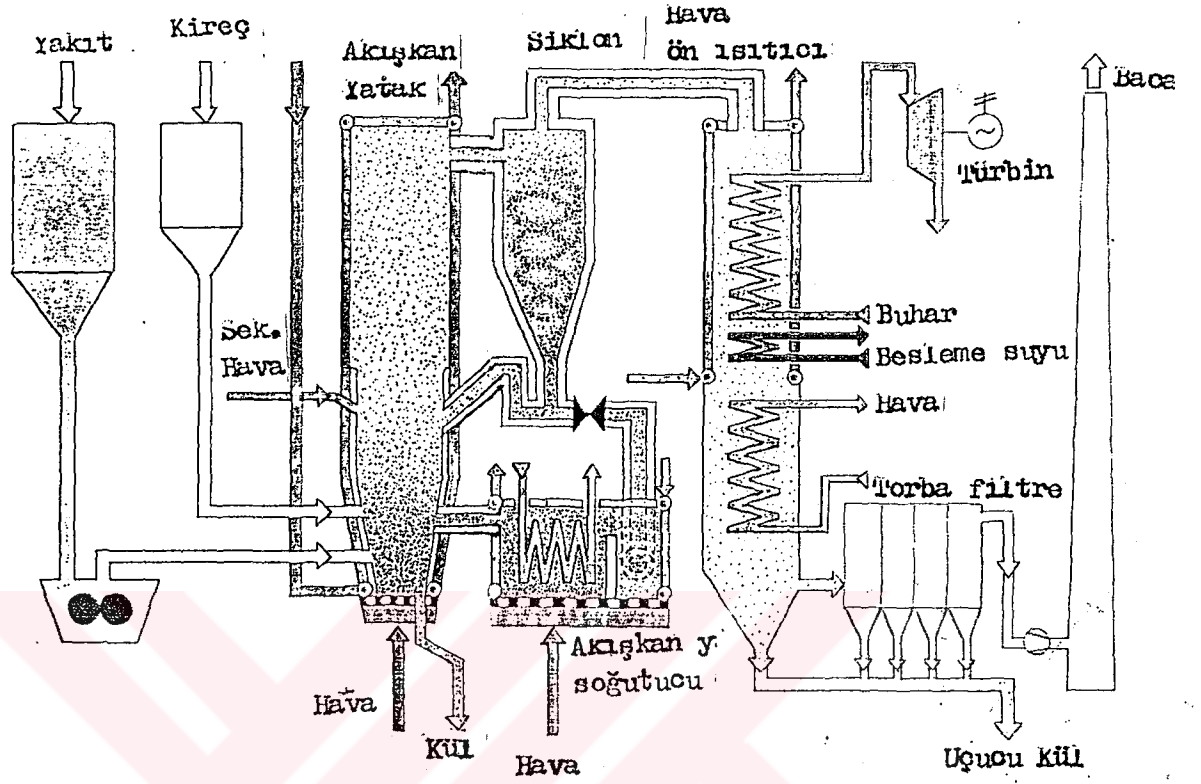
Yakıtın belirli bir hacim içine püskürtülerek, burada yanmasını sağlayan sistemlerdir. Yakıt olarak sıvı, gaz veya toz kömürler kullanılabilir.

Alışıl gelmiş yakma sistemleri (soba, kalorifer kazanı, diğer kazanlar v.b.) ile toz kömürlerin yakılmasında bazı problemler bulunmaktadır. Toz kömürleri daha iyi ve ekonomik yakabilmek için siklon yakıcılar geliştirilmiştir.

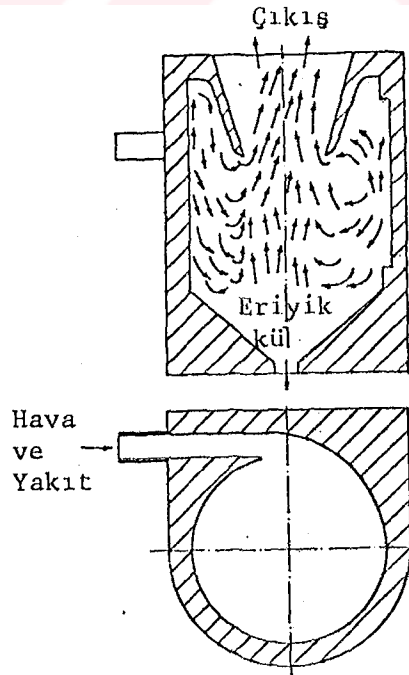
Siklon yakıcılar, genellikle düşük kalorili ve yakılması zor yakıtlar için kullanılırken, zirai atıklar, yüksek küllü kömür, antrasit, yüksek kükürtlü yağlar, endüstriyel atıklar ve bazı cevherlerin proses edilmesinde de kullanılmaktadır /ATAKAN (1987)/.

Siklon yakıcılarda temel prensip, nispeten küçük bir hacim içerisinde iyi bir karışım ve yüksek sıcaklık ortamında yakıtın çabuk ve tamamıyla yakılmasıdır.

Aşağıdaki şekilde (Şekil-2.21) genellikle yüksek küllü ve uçucu madde miktarı az olan yakıtlar için kullanılan bir siklon yakıcı verilmiştir. İmalatının basit olması için tek bir giriş (hava ve yakıt için) düşünülmüştür. Burada hava, yakıt ile birlikte siklona, teğet olarak girer ve yanma siklon içerisinde tamamlanır. Siklon, yapısı itibarıyla bir partikül tutucu olarak çalıştığından siklon altında yanmamış karbon partikülleri karbonmonoksit olarak gazlaşarak siklon



Şekil-2.20 Akışkan yataklı yakma sistemi (sirkülasyonlu)
/LURGI (1988)/



Şekil-2.21. Bir siklon yakıcı

çıkışında yanmaları tamamlanır /ATAKAN (1987)/.

Toz kömür, gaz ve sıvı yakıtlar uygun brülörler yardımıyla yanma odasına püskürtülerek yakılmaktadır. Burada yakıt tane-ciği havada askıda yanmakta, yanma odasında oluşturulan tür-bülansla kurutma, uçucu gazlaştırma, kok gazlaştırma ve yanma işlemleri kolayca sağlanabilmektedir.

Uygun brülör düzeni ve işletme koşulları ile alevin duvarlar-la teması olmadan olabildiğince yanma odasını doldurması sağlanmakta ve kararlı yanma koşullarının oluşturulmasına çalışılmaktadır /DURMAZ (1991).

2.5. YANMA SONUCU OLUŞAN ZARARLI EMİSYONLAR ve ÇEVREYE ETKİLERİ

Yanma reaksiyonunun doğal ürünleri olan karbondioksit ve su buharı zararlı emisyon olarak sayılmayabilir. Fakat, karbon-dioksitin atmosferde bulunma yüzdesinin artması yeryüzüne gelen rasyasyon miktarını değiştirir ve bunun sonucu olarak sera etkisi denilen yerkürenin daha sıcak bir iklime dönmesi-ni meydana getirir /MUEZZİNOĞLU (1987)/.

2.5.1. Zararlı Emisyonlar

Yanma sonucu; su buharı ve karbondioksit ile birlikte partikü-ler maddeler, organik ve anorganik bağlar oluşturan kükürtok-sitler (SO_x), azotoksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbonlar gibi havayı kirleten zararlı ürünler dışarı çıkmaktadır /MULLER (1986), BORAT (1983)/. Bunları, katı ve gaz emisyonlar olarak da sınıflandırmak mümkündür.

2.5.1.1. Katı Haldeki Emisyonlar

Katı madde şeklindeki, yanmayla oluşan emisyonlar esas olarak uçucu toz, uçucu kok ve isten oluşmaktadır. Uçucu kül veya uçucu tozlar, küçük kül partikülleridirler. Bunlar, duman

gazları ile taşınırlar ve özel filtrelerle ayrılırlar. Uçucu kok, tam olmayan yanmayla oluşan yakacak partiküllerinin koklaşmasıdır /SCHMIDT (1983)/.

İs, fosil kökenli yakıtların yanmasıyla oluşan karbon ve hidrokarbon bileşiklerinden meydana gelmektedir. Kısmen yüksek sıcaklıklarda yanmanın ani soğumasından da oluşabilir /SCHMIDT (1983)/.

Tane iriliği 0.1 µm'den küçük tozlar serbest hareketler yaparak birbirine yapışırlar ve büyüyebilirler. 0.1 - 1.0 µm arası tozların çökme hızları düşük olduğundan rüzgarlarla taşınırlar. Çapı 20 µm'den büyük olan tozlar havadan çökme ile ayrılabilirler. Toz emisyonlar, yakıtın kül miktarına da bağlıdır /DURMAZ (1987)/.

2.5.1.2. Gaz Haldeki Emisyonlar

Yanma sonucu oluşan; karbondioksit, karbonmonoksit, azotoksitler, kükürtoksitler ve hidrokarbonlar önemli gaz haldeki emisyonlardır.

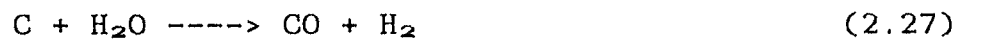
Karbondioksit; karbonlu maddelerin tam yanması ile oluşan, havadan ağır (özgül ağırlığı : 1.529 Kg/m³), renksiz ve kokusuz bir gazdır /VURAL (1984)/.

2.5.1.2.1. Karbonmonoksit Emisyonları

Karbonmonoksit, karbon ve hidrokarbon esaslı yakıtların tam yanmamasından, kısmen karbonun karbondioksit ile redüksiyonundan veya karbonun su buharı ile reaksiyonundan oluşmaktadır /SCHMIDT (1983)/.



veya



Yanma anında karbonmonoksitin oluşmasının sebepleri:

- Optimum yakma havasının sisteme gönderilememesinden dolayı

- tam yanma oluşmaması,
- Sisteme gereğinden fazla hava gönderilmesi ile yanma sıcaklığının giderek düşmesi,
 - Oluşan sıcak duman gazlarının soğuk yüzeylerden geçmesi ve böylece reaksiyonun kırılması,
 - Yakma yerine düşük yakıt yüklemelerinde /SCHMIDT (1983)/.

Karbonmonoksit; renksiz, kokusuz, hava ile eşit mol ağırlığına sahip (0°C ve 760 mm Hg basıncında 1.15 gr/lt özgül ağırlığı ile havadan hafif), kaynaklandığı nokta etrafında iyi dağılmayan, varlığı kolay kolay farkedilemeyen, atmosferde kolayca yok olmayan, ömrü 2 - 4 ay olan zehirli bir gazdır /MUEZZİNOĞLU (1987), VURAL (1984)/.

Karbonmonoksit, duman gazlarından oluştuğu gibi, taşıtların oluşturduğu egzoz gazlarından ve endüstriyel tesislerin bacalarından çıkan gazlar ile de oluşmaktadır. Ülkemizde sürekli artan sigara tüketimi de atmosferdeki karbonmonoksit oluşumunda büyük bir etkidir (sigara dumanı %4 oranında CO içermektedir /AKBABA (1989)/).

2.5.1.2.2. Azotoksit Emisyonları

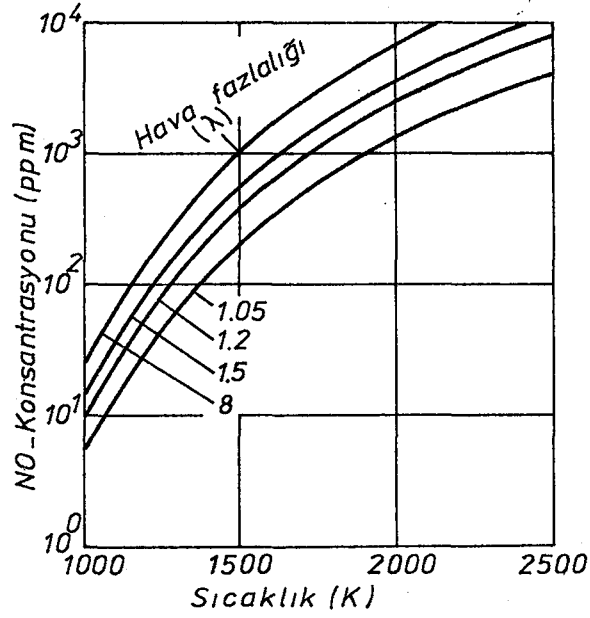
Azotoksitler; NO , NO_2 , olarak ayrılır. Tutulan NO_x , yaklaşık olarak %95 NO içerir /MICHELFELDER (1976)/. Bunlar:

- Termik NO_x ,
- Radikal oluşumlu NO_x ,
- Kimyasal NO_x

şeklinde oluşmaktadırlar.

Termik NO ; fosil yakıtların yakılması sırasında yanmayı gerçekleştirmek için verilen havadaki azotun oksidasyonu sonucu oluşmaktadır /MULLER (1986), SCHEUER (1985), MICHELFELDER (1976)/. NO_x 'in miktarı, azotun ve oksijenin yanma bölgesindeki yüksek sıcaklıklarda uygun kalma zamanlarına bağlıdır. Şekil-2.22 termik NO oluşumunu vermektedir.

Termik NO oluşumu Zeldoviç Mekanizmasına göre belirlenir:



Şekil-2.22. Termik NO oluşumunun sıcaklık ve hava fazlalığına bağlılığı /SCHEUER, (1985)/



Bunların yanında, azotun hidroksit (OH) ile reaksiyonu sonucu da NO oluşabilmektedir /SCHEUER (1985)/.

Radikal oluşumlu NO, özellikle yakıtça zengin olan bölgelerde ve hidrokarbon radikallerinin azot molekülleriyle yaptıkları reaksiyon sonucu oluşur /SCHAFER (1990)/. Bu NO oluşumunda Fenimore Mekanizması geçerlidir.



Radikal NO; N_2 ve O_2 'den, yanma prosesindeki organik maddelerden aşağıdaki radikal reaksiyonlara göre de oluşabilir /MULLER (1986)/.



Kimyasal NO_x , yakma havasındaki oksijen ile yakıtın

bileşimindeki azotun bağlanmasıyla oluşur. Bu NO_x , yaklaşık olarak $250^\circ C$ sıcaklığında açığa çıkmaktadır /MULLER (1986)/.

Yakma sistemlerinde oluşan bu üç tür NO_x yanma odası sıcaklığına bağlı olarak değişim gösterir (Şekil-2.23).

NO_x 'in, iç ortamlarda, gazlı ısıtıcılar ve pişirme cihazlarından da yüksek oranlarda oluştuğu belirlenmiştir /YILMAZ (1988)/.

Azotmonoksit (NO); renksiz, kokusuz, suda az çözünebilir, görülemeyen, kolay oksitlenebilir (hemen azotdioksite oksitlenir) zehirli bir gazdır /KIRIMHAN (1984)/. Atmosferde kalma süresi 4 gündür /EKİNCİ (1985)/.

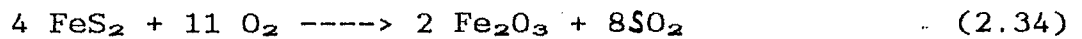
Azotdioksit (NO_2); ağır, sarı-esmerimsi (/VURAL (1984)/'a göre kırmızı renkte de olabilir), kalıcı kokuda olan, kolay oksitlenebilir, asit yağışlarında ve fotokimyasal sisin oluşmasında etken bir gazdır. Atmosferde kalma süresi 5 gündür.

2.5.1.2.3. Kükürtoksit Emisyonları

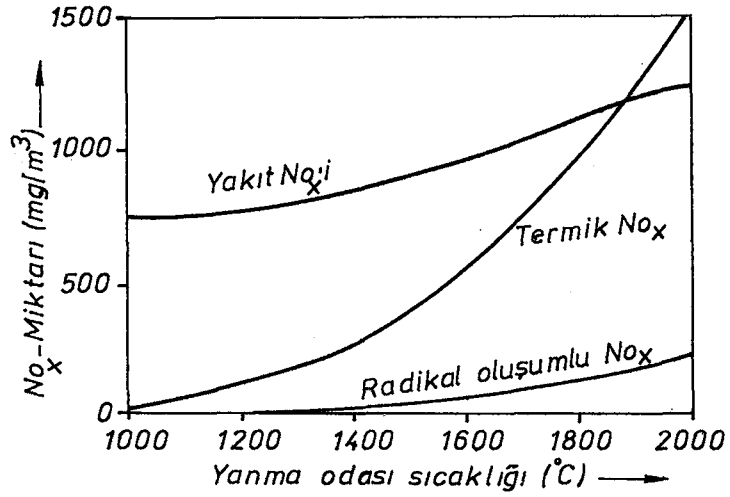
Kükürt içerikli yakıtların oksidasyonunda, organik veya anorganik bağlı kükürt, kükürtdioksite yükseltgenir /SCHAFER (1990), KÜÇÜKBAYRAK (1984)/. Yakıtta hidrokarbon yapıya bağlı olarak bulunan organik kükürttten egzotermik reaksiyon sonucu SO_2 oluşur.



Anorganik bağlı kükürt; sülfat, disülfür ve elementer halde olabilir. Disülfür bağının yüksek oranda olduğu bu durumda aşağıdaki reaksiyona göre SO_2 oluşmaktadır;



Yanma hacminde oluşan SO_2 'in küçük bir miktarı (maksimum %10) SO_3 'e oksitlenir /MULLER (1986)/. Yanma bölgesindeki sıcaklık $400 - 1200^\circ C$ arasında SO_3 oluşabildiği halde $1250^\circ C$ 'de sadece kükürtdioksit oluşmaktadır. Aşağıdaki



Şekil-2.23. Yanma odası sıcaklığına bağlı olarak NO_x oluşumu /SCHAFFER (1990)/.

Şekil-2.24'te, yanma sıcaklığı ve yanma için gönderilen hava fazlalığına bağlı olarak SO₃'in oluşumu verilmiştir.

SO₃'i meydana getiren reaksiyonlar sırası ile;



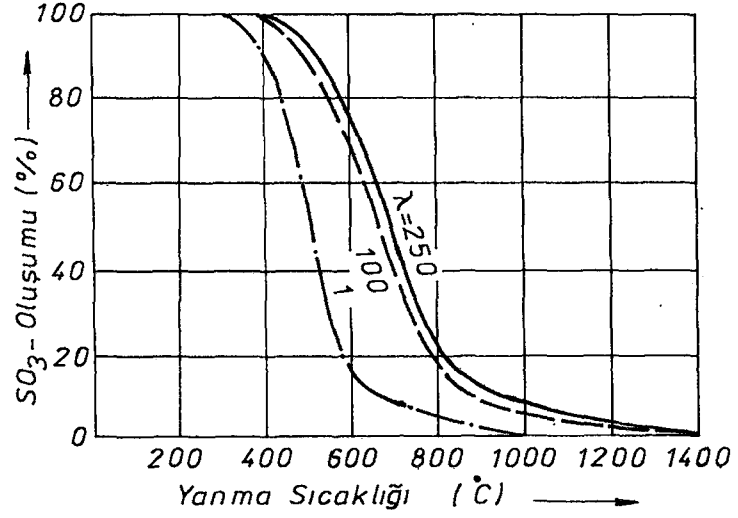
şeklinde verilmektedir. Kükürtrioksit (SO₃) su buhara ile kükürt asitini oluşturur;



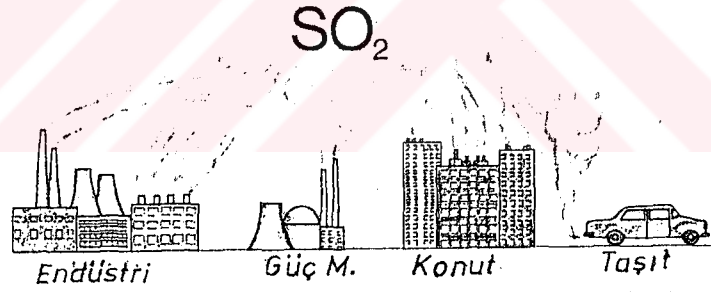
V₂O₅ ve Fe₂O₃ gibi katalitik maddeler kükürt asiti (sülfürik asit) oluşumunu kolaylaştırırlar.

Atmosfere atılan kükürtdioksitin genel olarak oluşum kaynakları aşağıdaki şekil-2.25'te verilmiştir.

Kükürtrioksit; renksiz, yanmayan, boğucu bir kokuya sahip, suda çözünebilir, havada 0.5 ppm konsantrasyonunda kokusu hissedilebilir, 0.3 - 1.0 ppm'de acı lezzeti duyulan zehirli bir gazdır /VURAL (1984)/.



Şekil-2.24. SO₃ emisyonunun yanma odası sıcaklığına bağlılığı /MULLER (1986)/



Şekil-2.25. SO₂'i oluşturan kaynaklar /SCHELSCHMID (1978)/

2.5.1.2.4. Diğer Emisyonlar

Yukarıda belirtilen emisyonların dışında hidrokarbon buharlar ve diğer kirleticiler sayılabilir. Bunların miktarları oldukça az olmasına rağmen kömür kaynaklı kirleticilerden olan polinükleer aromatik hidrokarbonlar şiddetli kanserojenlerden olmaları sebebiyle önemle üzerinde durulması gerekir /MUEZZİNOĞLU (1987)/.

2.5.2. Zararlı Emisyonların Çevreye Etkileri

2.5.2.1. Emisyonların İnsan Sağlığına Etkisi

Yanma sonucu oluşan zararlı emisyonlar, ya kendileri ya da diğer emisyonlarla birarada birçok zararlı etkiler oluştururlar. Yapılan araştırmalar, kirletiricilerin yoğun olduğu bölgelerde özellikle çocukların ve üst solunum yolları rahatsızlığı bulunan kişiler üzerine etkisinin çok daha fazla olduğunu ortaya çıkarmıştır /TANINDI (1985), NIEDING (1985)/.

2.5.2.1.1. Partiküllerin (Tozların) Etkisi

Partiküllerin solunum organlarındaki birikme ve burada kalma süreleri fiziksel faktörlere ve zerreciklerin büyüklüğüne bağlıdır /KARPUZCU (1984), KARPUZCU (1988)/. $1 \mu\text{m}$ 'den büyük tozların çoğunluğu solunum yollarındaki tüycükler tarafından yakalanır. Yakalanamayan veya daha küçük tozlar akciğerlerin hava torbalarına girerek, buradaki "Alveoli" denilen çukurlarda birikirler. Birikme miktarları, nefes alma sıklığı ve akciğerlerin hacminin büyümesinin değişimine bağlıdır.

Partiküller; atmosferde kalma süreleri, miktarları, bağıl nem ve SO_2 konsantrasyonlarının büyüklüğüne bağlı olarak çeşitli etkiler oluştururlar.

$150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü doğrudan güneş ışınlarını $1/3$ oranında azaltır. $100 - 130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü SO_2 'in $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten büyük olduğu durumlarda çocuklarda solunum yolları rahatsızlıklarının başlamasına, günlük ortalama $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü SO_2 $630 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten fazla ise kronik bronşitli hastalarda krizlerin ciddileşmesine, $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü SO_2 'in $715 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten fazla olması halinde hastalanmalara ve ölüm olaylarındaki artışa neden olur /MUEZZİNOGLU (1987)/.

2.5.2.1.2. Karbonmonoksitin Etkisi

Karbonmonoksit, kandaki hemoglobün ile birleşerek karboksi-

hemoglobini (CoHb) oluşturur. İnsan kanındaki hemoglobin, CO ile birleşmeye oksijene nazaran 210 kat fazla ilgi duyduğundan oksijen taşınmasını bozar /KARPUZCU (1984), AKBABA (1989)/.

Karbonmonoksitin; çevrede 10 mg/m³'lük bir miktarı uzun sürede, 30 mg/m³'lük bir miktarı kısa sürede (1 saatte) etkili olur. Boğucu gazların en tehlikelilerinden birisi olan CO, zehirlenmesine neden olduğu kimselerde başlangıçta şiddetli bir baş ağrısı, baş dönmesi, kulak uğultusu, kulakta damar atımının hissedilmesi, bulantı ve kusma meydana getirir. Kişi bu gibi halleri hissettiğinde, bulunduğu yerden çıkmak istese de vücudunda duyduğu yorgunluk, halsizlik, zekasındaki bulanıklık nedeniyle bunu gerçekleştiremez. Yaptığı hareketler daha fazla oksijen kaybına neden olur.

50 ppm'e kadar karbonmonoksit konsantrasyonu fiziksel tesirlerin seçilememesine, 100 ppm'i kalp ve akciğer fonksiyonlarında değişmeye, 250 ppm'i şuurun kaybolmasına, 750 ppm'i ölüme neden olur /KARPUZCU (1988)/. Karboksihemoglobin iki yönlü bir reaksiyon olduğundan kandan temizlenmesi için açık ve temiz havada birkaç saat kalmak yeterli olabilir.

2.5.2.1.3. Azotoksitlerin Etkisi

Solunumla alınan azotoksitler, kılcal damarlar yoluyla kana karışmakta, hemoglobinle birleşerek karbonmonoksite benzer etki yapmaktadır /ÖZTAN (1985)/ (/KARPUZCU (1988)/'ya göre azotoksitler hemoglobin ile birleşerek kararlı bir formda azotdioksit-hemoglobin yapmakta ise de zararlı bir tesiri belirlenememiştir).

Azotoksitler, özellikle nemli havalarda NO₂'e yükseltgenerek okside olmakta ve sonuçta nitrik asidi (HNO₃) oluşturup asit yağışlarına neden olmaktadır. Hava şartlarına göre ya oluştuğu yerin yakınlarına inmekte veya uzak bölgelere taşınmaktadır. Nitrik asit, " H⁺ " ve " NO₃⁻ " iyonlarına ayrılmakta ve yağmur sularıyla çözülmüş olarak taşınmaktadır

/ÖZTAN (1985)/.

Yüksek NO_2 oranına sahip hava ortamında, özellikle çocuklarda akut bronşite neden olmaktadır /VURAL (1984)/. Çok yüksek konsantrasyonlardaki NO_2 ciğerlerde ödem ve kanamalara neden olur. 5 ppm NO_2 'in 4 saat solunmasıyla, solunum sıklığı ve soluk hacmi artar.

Azotoksitle zehirlenme halinde, kişi ortamdan uzaklaştırılır, oksijen tedavisi yapılır, ağıza ve burna ıslak bez konulur /VURAL (1984).

2.5.2.1.4. Kükürtoksitlerin Etkisi

Kükürtdioksit (SO_2), insanlarda solunum yollarında salgı akıntısını hızlandırarak veya yavaşlatarak şiddetli akut zehirlenmelerine sebep olur ve bronş adalelerini büzerek nefes yollarını daraltır.

İnsanlarda, 1 ppm (2.7 mg/m^3)'den daha az SO_2 konsantrasyonu kısa zamanda tesirini göstererek gözlerde, solunum yollarında alışık olunmayan durumlara sebep olmaktadır. Bronşit ve astımı olanlarda, bir defasında alınan 0.5 ppm'e kadar olan SO_2 konsantrasyonu solunum yollarındaki akış direncini arttırmakta, 1 ppm'in üzerindeki konsantrasyonlar akış direncini çok kuvvetli arttırarak astım krizine yol açabilmektedir /NIEDING (1985)/.

Solunum fonksiyonlarının değişimi reversibl olduğundan, bir defasında etkilenme endişe verici bir durum olatak kabul edilebilir. SO_2 , nefes ile vücuda alınmasından itibaren 10 dakika içinde etkisini gösterir. Bunun yanısıra solunum yollarına diğer bir hastalığı da taşıyabilir.

SO_2 , atmosferde SO_3 'e ve H_2SO_4 (sülfürik asit)'e dönüşerek asit yağışlarına neden olur. H_2SO_4 yağmur sularında " H^+ " ve " SO_4^{--} " iyonları şeklinde çözülmüş olarak taşınır /ÖZTAN (1985)/. $3000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ H_2SO_4 'e kısa süre maruz kalınmasıyla akciğer fonksiyonları etkisiz hale gelmektedir.

Çocuklar üzerinde yapılan araştırmalar, kuvvetli SO₂ yüklenen bölgelerde hastalık sıklığının görüldüğünü ortaya koymaktadır /NIEDING (1985)/.

SO₂ ile zehirlenmelerde, genel tedavi prensipleri uygulanır.

2.5.2.2. Emisyonların Bitkilere Etkisi

Yanma sonucu oluşan zararlı emisyonlar bitkilere üç şekilde tesir ederler:

- Yaprak dokularının harap olması,
- Yaprakların sararması veya başka renklere dönüşerek yeşillliğini kaybetmesi,
- Büyümenin yavaşlaması ve besi değerinin düşmesi /KARPUZCU (1988)/.

SO₂ gazı, bitkilerde fotosentez olayını yavaşlatmakta, oksidasyon işlemine engel olmakta, kloro-plastlardaki magnezyumu kurutmaktadır /ÖZTAN (1985)/.

2.5.2.3. Emisyonların Eşyalara Etkisi

Emisyonların eşyalar üzerindeki en çok bilinen tesiri, bina cephelerinde, kumaşlar ve diğer eşyalar üzerinde lekeler meydana getirmesidir. Yüzeyler üzerine 0.3 mikron büyüklüğünde smogların birikmesi neticesi söz konusu bozulmalar ve lekeler meydana gelmektedir. Zamanla bu birikme yüzeyi tahrip ederek ve rengini değiştirerek kendini belli eder. Malzemelerde korrozyonu hızlandırır /KARPUZCU (1988)/.

2.6. YANMA SONUCU OLUŞAN EMİSYONLARA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Yanmada, zararlı emisyonların oluşmasında, yakma sistemi ve duman bacası büyük rol oynamaktadır. Bacadan atılan zararlı emisyonların etki derecesini de meteorolojik şartlar,

topografik yapı ve kentsel doku belirler.

2.6.1. Yakıtın Etkisi

Yanma sonucu oluşan zararlı emisyonlara kullanılan yakıtın etkisi, yakıtın cinsine ve özelliğine göre değişir. Aşağıdaki çizelgede düşük kapasiteli yakma sistemlerinde enerji taşıyıcıya bağlı olarak zararlı emisyonlar verilmiştir.

Çizelge-2.5. Düşük kapasiteli yakma sistemlerinde enerji taşıyıcıya bağlı olarak zararlı emisyonlar /BERGE (1986)/

Enerji Taşıyıcı	Oranı	CO	Org. Bağ.	NO _x	SO ₂	Toz
	%	%	%	%	%	%
Yakıt Yağı	60	3.9	26.3	62.1	69.4	8.3
Gaz	30	2.3	1.8	27.6	0.3	0
Katı Yakıt	10	93.8	71.9	10.3	30.3	91.7

Yakma sistemlerinde katı yakıt olarak genelde linyit kömürü kullanılır. Ülkemizde kömür rezervlerinin %57'sinin ısı değeri 1500 Kcal/kg'ın altında, %33.5'inin 1500 - 3000Kcal/kg arasında, %9.5'inin ise 3500 Kcal/kg'ın üzerindedir /ATAKAN (1987), BIRON (1982)/. Linyitlerimizin genel olarak ısı değeri 800 - 6000 Kcal/kg, kül oranı %6 - 54, kükürt oranı %0.5 - 10, nem oranı %1 - 53 arasında değişmektedir /ATAKAN (1987), BIRON (1982)/.

Linyitlerimizin çevre kirlenme açısından özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Düşük ısı değere sahip yakıt kullanımı sonucunda, yeterli birim enerji üretimini sağlamak için daha yüksek miktarlarda yakıt kullanılacak, bu da daha fazla kükürtdioksit, azotoksit, tanecik ve hidrokarbonun yayılımını getirecektir.
- İçerdikleri kükürt ve azot miktarları, ısı değeri bazında incelendiğinde, dünya ortalamalarının üzerindedir.
- Kül ve nem oranları fazla olduğundan katı artık ve tanecik yayılımını yüksektir.
- Fiziksel ve kimyasal özellikleri çok önemli değişimler gösterdiğinden, yakma sistemlerinin tasarlanma zorlukları,

yakma sorunları ve kirlenme (özellikle CO, yanmamış hidrokarbon, duman ve kurum) ile karşılaşmıştır.

- Kül yumuşama sıcaklıkları düşük olduğu için yakma sistemlerinde kolayca aglomerasyona uğrayıp yanma verimini düşürmektedir /EKİNCİ ve ç.a.(1985)/.

2.6.2. Sistemin Etkisi

Hava kirliliğine yakma sisteminin etkisi çok büyüktür. Bu etki genelde yakıt-yakma sistemi uyumsuzluğundan kaynaklanmaktadır. Yakıt olarak çoğunlukla linyit kömürü kullanılmaktadır. Linyit kömürlerinin kimyasal özelliklerinde çok büyük farklılıklar vardır. Bu da yakma sisteminin hangi özelliklere göre yapılacağı problemini ortaya çıkarmaktadır.

Yakma sisteminin, kullanılan yakıt ve yakma havası dengesini çok iyi kuracak nitelikte olması gerekir. Bu denge tam sağlanmadığında, ya yakma havasının yetersiz olmasıyla eksik yanma oluşacak ve karbonmonoksit, yanmamış karbon veya hidrokarbon gibi zararlı emisyonlar artacak ya da yakma havasının gereğinden fazla olmasıyla yanma bölgesinde soğuma meydana gelerek ısı kapasitesinin düşmesinin yanında azotoksit gibi zararlı emisyonları da arttıracaktır.

Özellikle düşük kapasiteli yakma sistemlerinde yanma yukarıdan aşağıya doğru yapılmaktadır. Çünkü, yanma aşağıdan yukarıya doğru yapıldığında karbonmonoksit, yanmamış karbon ve partikül gibi zararlı emisyonların daha fazla miktarlarda açığa çıktığı belirlenmiştir.

2.6.3. Bacanın Etkisi

Yakma sisteminde yanma sonucu oluşan duman gazlarını atmosfere atmak için yapılan bacalarla sistem arasında uygunluk olmalıdır.

$$H = h (\alpha_{d1e} - \alpha_{1e}) \quad (\text{mmSS}) \quad (2.39)$$

H : Baca çekişi (mmSS)

h : Baca yüksekliği (m)

$\delta_{dış}$: Dış hava özgül ağırlığı (kg/m^3)

$\delta_{iç}$: Duman gazlarının ortalama özgül ağırlığı (kg/m^3)

Yukarıdaki formül ile verilen minimum baca çekiş değerinin, baca içindeki toplam sürtünme kayıplarını yenecek düzeyde olması gerekir /RIETSCHER (1973)/. Buna göre çekiş, baca yüksekliğinin ve duman gazları sıcaklığının artışına göre büyür. Bacadan duman gazlarının çıkış hızı, tesisin minimum yüklenmesine göre artmalıdır /MUEZZİNOĞLU (1987)/.

19269 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan yönetmeliğe göre, düşük kapasiteli yakma sistemlerinde bacanın çatıdan yüksekliği Şekil-2.26'da görüldüğü gibi olmalıdır. Sistem boyutları arttıkça, ölçü değerleri de arttırılmalıdır.

Evsel yakma sistemlerinde oluşan duman gazını atmosfere bırakan baca, komşu binalardan etkilenmeyecek derecede yüksek olmalıdır. Etrafındaki yapılar duman gazlarının sürüklenmesini sağlayan hava sirkülasyonuna engel olmamalıdır. Baca kesiti yakma sisteminin kapasitesine uygun olmalıdır.

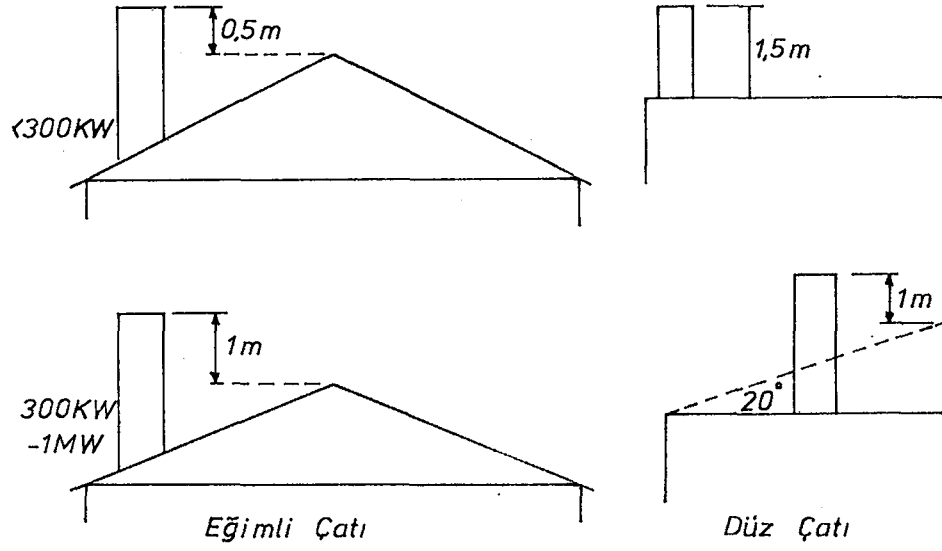
Baca çekişinin iyi olmaması halinde kötü bir yanma meydana gelir ve zararlı emisyonlar artar.

Bunlardan başka, zararlı emisyonları arttıracığından bacalar-daki nemlenmeden kaçınılmalı ve bacanın sürekli temiz olmasına dikkat edilmelidir /GAUS (1986)/.

2.6.4. Meteorolojik Şartların Etkisi

Dış havanın sıcaklığı, nemi, basıncı, rüzgar hızı ve yönü, yağış ve sis gibi meteorolojik şartlar hava kirliliğinin etkinliğinde önemli rol oynamaktadır.

Hava sıcaklığının düşmesiyle orantılı olarak yakma sistemlerinde kullanılan yakıt miktarı artacak ve artan yakıt miktarına paralel olarak çevreye yayılan zararlı emisyonların miktarı da artacaktır. Bu nedenle iyi bir yanma sağlamanın yanısıra binaların yalıtımına da gereken önemin verilmesi,



Şekil-2.26. Yönetmeliğe göre çatı-baca ilişkisi

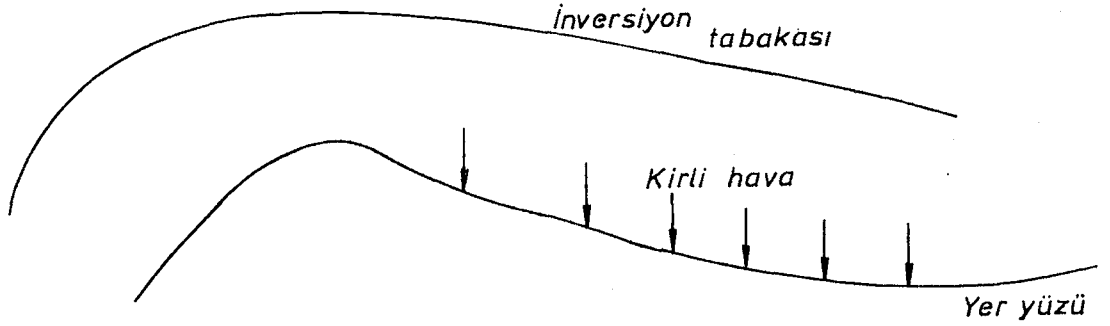
açığa çıkan zararlı emisyonların azaltılmasında büyük etken olacaktır.

Herhangi bir nedenle bir bölgenin üstünü kaplayan sıcak hava tabakası daha soğuk olan yerleşim merkezinden yukarıya doğru yükselmek isteyen havayı engeller. Bu olaya inversiyon denir (Şekil-2.27). Bu durumda özellikle yakma sistemlerinden çıkan kirletici gazlar inversiyon tabakası ile yeryüzü arasında sıkışıp kalır. Kirlenen ve durgun halde olan bu hava teneffüs edildiğinde, istenmeyen sağlık problemlerine neden olabilmektedir.

Havanın içinde bulunan nem, duman gazları içinde bulunan kü-kürtdioksit, azotoksit, karbonmonoksit gibi gazlarla reaksiyona girerek sülfürik asit, nitrik asit ve karbonik asiti oluşturarak sonuçta asit yağışlarına neden olabilir.

İnsan sağlığı için sıcaklık ve nem orantılı olmalıdır. Sıcaklık düşük, nem yüksek olduğunda insan organizmasında rahatsızlıklar meydana gelir. Daha fazla ısınma ihtiyacı duyulur. Bunun sonucu, daha fazla yakıt yakılacağından zararlı emisyonlar da orantılı olarak artar.

Rüzgarın hızı ve yönü, havaya karışan zararlı maddelerin



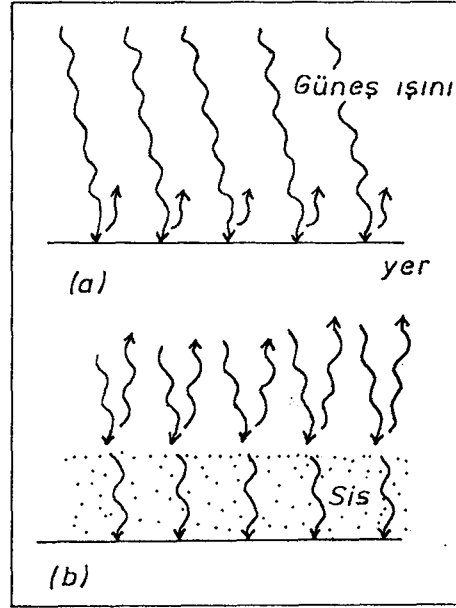
Şekil-2.27. İnversiyon olayı

yatay olarak taşınmasında etken olur. Bu durumda, hava yüksek binalara veya ağaçlara çarparak türbülanslı halde akmaya başlar veya çeşitli yönlere dağılır. Yerleşim merkezi üzerinde biriken veya rüzgar yardımıyla başka yerlerden sürüklenen emisyonlar, hava şartlarının etkisiyle burada uzun süre kalabilirler. Bu durumda emisyonlar buldukları bölgede aşağı çökerek yerleşim merkezinde etkili olabilirler. Bu nedenle; bir yerleşim merkezinde, rüzgarın hakim olduğu yöne göre sanayi tesisleri kurulmalı ve şehir dokusu belirlenmelidir. Evlerde veya iş yerlerinde duman bacaları, rüzgarın duman gazlarını sürükleyeceği gözönüne alınarak yapılmalıdır.

Yağışlar, havada asılı bulunan bazı tozları ve kükürtdioksit gibi gaz kirleticileri yıkayarak toprağa indirirler. Fakat bu durumda da su ve toprak kirlilikleri meydana gelmektedir. Ayrıca kükürtdioksit ve azotoksit gibi gazlarla ultraviyole ışınlarının tesiri altında birleşen su, asit yağışlarına neden olabilmektedir /ÇATALTAŞ (1969)/.

Yakıtların eksik yanması sonucu havaya karışan hidrokarbonlar, fotokimyasal bir oksidasyon sonucu kanserojen maddelere dönüşürler ve bu arada azotoksitlerinin de katalitik tesiri ile ozon oluşur /ÇATALTAŞ (1966)/.

Atmosferdeki su buharının yoğunlaşmasıyla oluşan havadaki ince su damlacıklarına sis denir. Sis, güneş ışığının yeryüzüne gelmesini engeller, duman ve toz partikülleri ile yoğunlaşabilir (Şekil-2.28) /KUNDUZ (1991)/. Sis üst kısımlarının



Şekil-2.28. Sis in güneş ışınlarını engellemesi/KUNDUZ (1991)/
daha fazla ısınması sonucu içindeki kirletici maddeler dağı-
lamaz ve hava kirliliğine neden olur.

Sis, kükürtdioksit ve azotoksitlerle birleşerek asit yağışla-
rı meydana getirebilir.

2.6.5. Topografik Yapı ve Kentsel Dokunun Etkisi

Dağlar, engebeli arazi, yüksek binalar, çatı gibi yakma sis-
temlerini çevreleyen topografik yapı, hava akımını engelliye-
bilmekte ve bacadan yayılan kirleticilerin atmosfere karışa-
rak uzaklara dağılmasını zorlaştırır /DURMAZ (1987)/.

Kentsel ve endüstriyel planlamalar, arazinin topografik yapı-
sı ve meteorolojik şartlar da gözönünde bulundurularak zarar-
lı emisyonlardan en az etkilenecek şekilde yapılmalıdır.
Planlama yapılmadan kurulan bir yerleşim merkezinde oluşan
hava kirliliğini ortadan kaldırmak hem çok zor hem de yüksek
maliyetlidir.

Kentsel dokunun da planlı yapılması gerekir. Yolların yeterli
genişlikte olması, binaların; yanma sonucu oluşan zararlı
gazların dağılmasını ve taşınmasını engellemeyecek şekilde ve

yükseklikte planlanması gerekir. Yüksek yapıların aralarında kalan küçük yapılarda duman gazlarının uzaklaştırılması çok zordur. Buradaki zehirli emisyonlar, sürekli, insanların teneffüs ettiği bölge içerisinde kalmaktadır.

Konut, sanayi ve ulaşım ile ilgili yakma sistemlerinin toplam yükleri ve emisyonları, meteorolojik koşullar da gözönünde tutularak, topografik yapının kaldırabileceği biçim ve boyutlarda oluşturulmalıdır /DURMAZ (1987)/.

2.7. YANMA SONUCU OLUŞAN EMİSYONLARIN KONTROLÜ

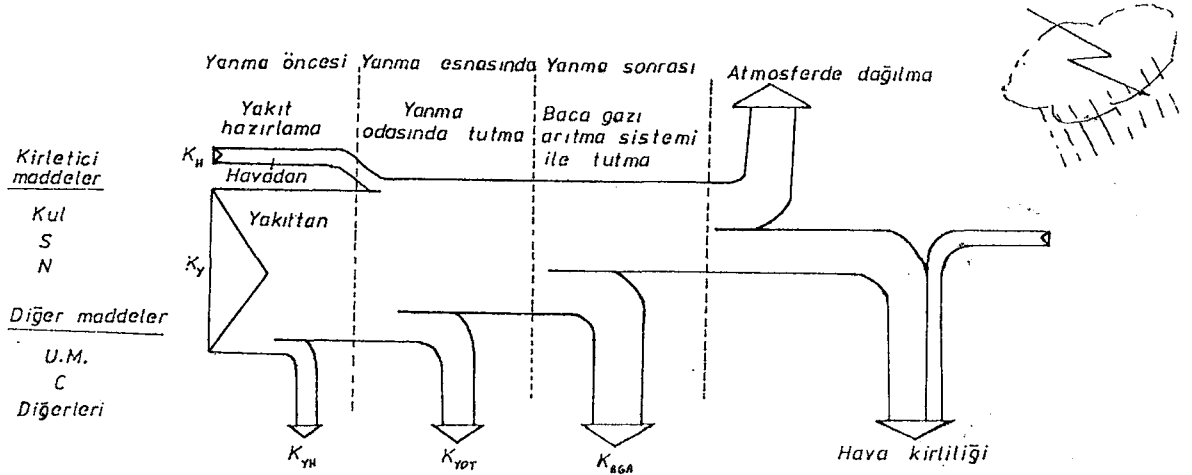
Yanma sonucu oluşabilecek zararlı emisyonların çevre ile ilgili yaptırımlara göre sınır değerlerini aşmaması gerekir. Bunun için yakıt ve yakıcı da gözönüne alınarak, emisyonların hangi kısımda kontrol edilebileceği çok iyi tetkik edilmelidir. Yanma süreçleri ile ilgili basitleştirilmiş bir hava kirleticileri denge diyagramı şematik olarak aşağıdaki Şekil-2.29'da verilmiştir.

Kirleticiler kaynakların neden olduğu hava kirliliğinin kontrolünde uygulanan başlıca yaklaşımlar:

- Enerjinin verimli kullanımı ile zararlı emisyonların azaltılması,
- Kirleticiler özelliği az olan yakıtların kullanılması veya yakıt hazırlama teknolojileriyle yakıtların çevre ile uyumlu hale getirilmesi,
- Uygun yakma sistemleri ve teknolojileri ile hava kirleticilerin bir bölümünün yanma odasında tutulması,
- Zararlı emisyonların baca gazlarından arıtılmasıdır /DURMAZ (1987)/.

2.7.1. Enerjinin Verimli Kullanımı ile Zararlı Emisyonların Azaltılması

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 1989 verilerine göre



Şekil-2.29. Kirlenici dengesi /DURMAZ (1987)/

Ülkemizde tüketilen enerjinin sektörel dağılımı aşağıdaki gibidir:

- Konut	%41
- Sanayi	%33
- Ulaştırma	%20
- Tarım	%5
- Diğer	%1

Ülkemizde tüketilen yakıtın %32'sinin ısıtma amacıyla kullanıldığı belirlenmiştir. Hızlı nüfus artışı, belirli bölgelerde yoğunlaşma konut açığını arttırmakta ve standart dışı yapılaşmalar meydana gelmektedir.

Yapılarımızda, ısı yalıtımına gereken önemin verilmeyişi, ısınma için sarfedilen yakıt miktarını arttırmaktadır; ayrıca kaliteli yakıtların pahalılığı ekonomik gücü zayıf olan halkımızın ucuz, fakat çevreyi daha fazla kirleten linyitlere doğru yönelmesine neden olmaktadır /TULBENTÇİ (1991)/.

Günümüzde yapılan binaların hemen hemen hepsinde ısı yalıtım projesi bulunmakta, fakat büyük çoğunluğu yapım sırasında uygulanmamaktadır. Isı yalıtımı için bir kontrol mekanizması olmadığından, yapılarda keyfi uygulamalar yapılmaktadır. Bunların sonucu olarak, yapılarda ısı kaybı daha fazla olmaktadır ve tüketilen yakıtın da artmasına neden olmaktadır.

Yakılan yakıtın artması, kirletici emisyonları da arttırmaktadır.

Isı yalıtımı ile ilgili 16 Ocak 1985 Tarih ve 18637 Sayılı Resmi Gazete yayınlanmıştır /ANONİM (1985)/. Bu yönetmelikte, ülkemiz üç iklim bölgesine ayrılmış ve bu bölgelere ait dış duvar ve pencereler için ısı iletim katsayıları belirlenmiş ve konstrüksiyon örnekleri verilmiştir. Bu yönetmeliğin uygulanabilmesi için bir kontrol mekanizması oluşturulmalıdır.

2.7.2. Yakıt Hazırlama ile Zararlı Emisyonların Azaltılması

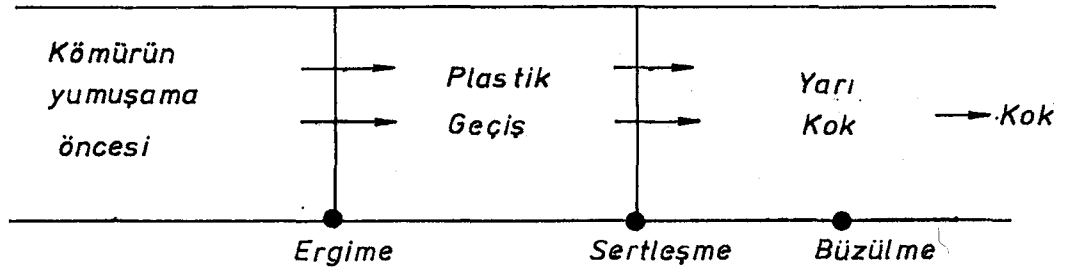
Kömürün yakılması sonucu oluşan toz (veya is), kükürtdioksit ve karbonmonoksit en önemli zararlı emisyonlardır. Yakıt hazırlama teknikleri ile toz ve kükürtdioksit belirli oranlarda azaltılabilir. Karbonmonoksit emisyonu, yakma sistemi-yakıt dengesine göre kontrol altında tutulabilir.

Yakıtın kullanım yerine göre hazırlanması gerekir. Başta demir çelik endüstrisi olmak üzere diğer endüstri dalları kömürü ancak koklaştırılmasıyla kullanabilmektedir. Metalürjik kok adı verilen bu yakıt sadece taşkömür rezervlerinin ancak bir kısmından üretilmektedir.

Yakıldığında çevrenin temiz kalmasına büyük katkıları olan kok, kömürün ısıtılması sırasında genellikle 350-550°C arasında yumuşaması, ergimesi, hacminin küçülmesi ve tekrar artarak şişmesi, taneciklerin yapışarak pişmesi ve katılaşıp sertleşip büzülmesi sonucu oluşmaktadır (Şekil-2.30) /ATEŞOK (1990)/.

Alışıl gelmiş yakma sistemlerinde (soba, kalorifer), küçük taneli (<10 mm) veya toz halindeki kömürleri yakmak çok zordur. Çeşitli nedenlerle küçük taneli hale gelmiş veya kolay ufalanan linyitlerin, aşağıdaki yararlarından dolayı belirli oranda kurutulduktan sonra preslenerek briket halinde kullanılması uygundur:

- Tozlanma ve toz kaybını önlemek,
- Yakma sırasında kömürün ızgara altına düşmesini engellemek,



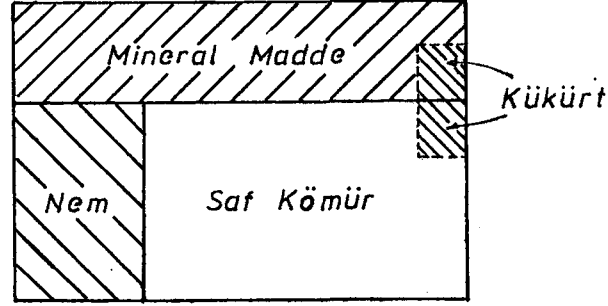
Şekil-2.30. Kok oluşumu /ATEŞOK (1990)/

- Tozların baca gazları ile sürüklenerek atmosfere geçmesini önlemek, dolayısıyla hava kirliliğini azaltmak,
- Kömürün stokta kendi kendine tutuşma eğilimini azaltmak,
- Kömürün hacmini azaltarak depolama ve nakliyatıta kazanç sağlamak,
- Yığın içinde belirli porozite ve geçirgenliğin sağlanması,
- Belirli özelliklerde malzeme akımının sağlanması,
- Kullanım için gerekli tane iriliğini sağlamak,
- Malzemenin kabına yapışmasını önlemek /KURAL (1990)/.

Petrol krizi ile birlikte fuel-oil'in ikamesi amacıyla kömür-akaryakıt karışımlarının hazırlanıp yakılması gündeme gelmiştir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda en belirgin gelişme, düşük maliyetli, etkin yüzey aktif katkı maddelerinin bulunması ile sağlanmıştır. Günümüzde %70-75 kömür (kömür yaklaşık 74 mikrona öğütülmüş), %25-30 su ve yaklaşık %1 kimyasal katkı maddesinden oluşan kömür-su karışımları hazırlanmaktadır /UYAR (1990)/. Bu karışımların yakılmasıyla çevre kirlenme özelliği azalmış hem de petrole bağımlılıktan kurtulmuş olunabilir.

Kömür temizleme ve arıtma teknolojileri ile kömürün içerisindeki bazı safsızlıklar giderilebilir. Şekil-2.31 kömür ve safsızlıklarını göstermektedir.

Nem, kömürlerde yüzey nemi ve yatak nemi olarak bulunur. Parça kömürler için çok az olan yüzey nemi, özellikle yıkama işleminden geçmiş toz kömürlerde yüksek düzeydedir. Toz kömürlerde yüzey nemi sarsak elek, santrüfüj vb. donatımla



Şekil-2.31. Kömür ve safsızlıkları /ÇULFAZ (1991)/

mekanik olarak kömürden ayrılır. Yatak nemi ve taneli kömürlerde yüzey nemi ısı kurutmayla giderilebilir. Ancak kurutma işlemi, kömürün tekrar nem almasına fırsat vermemek için kullanımlarının hemen öncesinde yapılmalıdır /ÇULFAZ (1991)/.

Kömürlerde yaygın halde bulunan, yanma sonucu kül haline dönüşen mineral maddeler Çizelge-2.6'da verilmiştir.

Kömürden mineral maddenin giderilmesi fiziksel, biokimyasal ve kimyasal yöntemlerle yapılabilmektedir.

Kömürden mineral maddenin uzaklaştırılmasında uygulanan kömür yıkama yöntemleri fiziksel yöntemlerdir. Kömürle mineral madde arasındaki büyük yoğunluk farkı jigler, ağır ortam ayırıcıları, sarsıntılı masalar gibi yerçekimi yöntemlerinin uygulanmasını mümkün kılmaktadır /AHMED (1991)/.

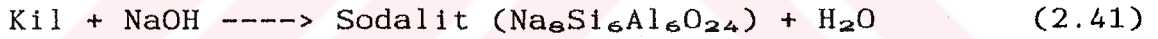
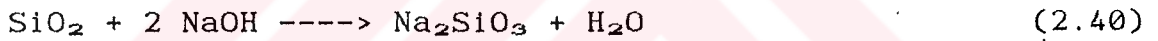
Kömürdeki piritik kükürdün %70-80'inin, çözeltiyle alınmasının mümkün olduğu biokimyasal yöntemlerde genelde Thiobacillus türü bakteriler kullanılmaktadır.

Kimyasal yöntemler olarak, kimyasal ufaltma, çeşitli gaz ortamlarında koklaştırma, kostik çözeltiyle mineral madde giderimi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Kimyasal ufaltmada; metenol, amonyak gazı gibi uygun bir kimyasal maddeyle temas ettirilmekte ve işlem sonunda kömür çözünmeksizin dağılmaktadır. Piriti de içeren kül yapıcı maddenin çoğu aşırı derecede ufalmaksızın serbest hale gelmektedir. Kömürün kükürdünün giderilmesi amacıyla yapılan koklaştırma işlemlerinde inert-

Çizelge-2.6. Kömürlerin içerdği mineral maddeler /ÇULFAZ (1991)/

Mineraller	Kimyasal Bileşimi
illit	$KAl_2 (AlSi_4O_{10}) (OH)_2$
Semektik	$Al_2Si_4O_{10} (OH)_2 \cdot xH_2O$
Kaolinit	$Al_4Si_4O_{10} (OH)_2$
Kalsit	$CaCO_3$
Dolomit	$CaCO_3 \cdot MgCO_3$
Siderit	$FeCO_3$
Pirit	FeS_2
Kuarz	SiO_2
Hematit	FeO_3

olarak azot veya karbondioksit gazları, indirgen olarak hidrogen, su buharı veya oksijen kullanılmaktadır. Kömürün en fazla kül yapıcı bileşenleri kuarz ve kil mineralleri sodyum hidroksit kullanılarak giderilebilir /AHMED (1991)/.



Kömürde kükürt, organik kükürt olarak saf kömürün yapısının bir parçası olabildiği gibi mineral maddesinde de bulunur. Mineral madde içerisindeki kükürt çoğunlukla pirit biçiminde ve az miktarda da sülfat kükürdü olarak bulunur /ÇULFAZ (1991)/. Mineral madde içerisindeki kükürt yukarıda açıklanan yöntemlerle giderilebilir. Organik kükürdün çoğunluğunu oluşturan tiofenler ise oldukça dayanıklıdır ve ancak yüksek sıcaklıklarda bozunurlar, tiofenik halka 800°C'da parçalanır /KUÇUKBAYRAK (1984)/. Ayrıca kükürt gidermede kullanılan Meyers Yöntemi'nde ince öğütülmüş kömür tozu, Fe^{+3} iyonlarını içeren bir çözelti ile reaksiyona sokulursa, Fe^{+3} iyonları Fe^{+2} iyonlarına indirgenir ve serbest kükürt oluşur. Çözelti süzülerek kömürden ayrılır, kömür yıkandıktan sonra vakum altında ısıtılarak kurutulur ve serbest kükürdün büyük bir kısmı da kurutma sırasında buharlaşır /DOĞAN(1990)/

2.7.3. Zararlı Emisyonların Yanma Odasında Tutulması

Yakma sistemleri tasarımı ve sistem seçiminde; sistem kapasiteleri, yakıt yakma ve kirletme özellikleri, enerji ve işletme ekonomisi yönünden uygunluğu gözönünde tutulmalıdır. Kirleticilerin yanma odasında tutulması; yakıt tane biçimi (bricket, tane kömür, toz kömür) ve tane büyüklüğüne, kül özelliği ve kömür katkı maddesine (kireç, kireçtaşı, dolomit vb.), yakma biçimine (ızgara üzerinde, toz biçiminde, akışkan yatakta), cüruf alma özelliğine (kuru cüruf, ergimiş cüruf), yanma odası sıcaklığı ve diğer bir çok tasarım ve işletme parametrelerine bağlıdır /DURMAZ (1987)/.

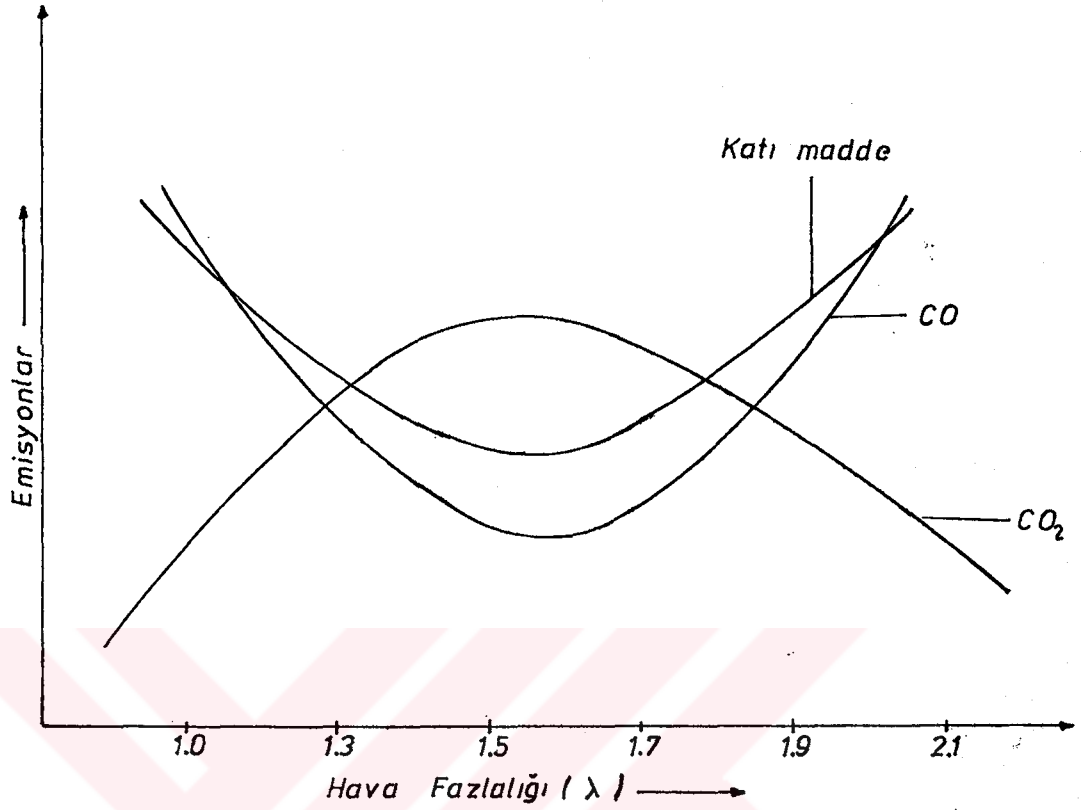
Yanma odasında; toz, kükürtdioksit ve azotoksitlerin bir kısmı tutulabilir ve karbonmonoksit çıkışı da azaltılabilir.

Toz emisyonların tutulabilmesi; yakıt tane iriliğine ve yüklenmesine, yakma ve yanma odası biçimine ve yakma havası oranına bağlıdır. Izgaralı yakma sistemlerinde, külün yanma odasında tutulması oranı toz kömür yakma sistemlerinden çok daha fazladır.

Genelde doğal çekişli yapılan düşük kapasiteli ızgaralı yakma sistemlerinde; yakıt, uygun tane irilik aralığında ve uygun doldurma yüksekliğinde yüklenmelidir. Çünkü küçük tanelerde, yakma havasının taneler arasından geçişi zorlaşacağından eksik yanma oranı artar. Çok iri kömürlerin yakılmasında, kömürün ısı transfer yüzeyi düşeceğinden ve üzerinde küllenme olacağından dolayı yine yanma zorlaşarak eksik yanma ürünleri artar.

Yakma havası uygun oranda (küçük kapasiteli ızgaralı sistemlerde $\lambda = 1.6-2.0$ arasında) verilmelidir. Yakma havası gereğinden az verildiğinde eksik yanma artar, çok verildiğinde yanma bölgesini soğutacağından yine eksik yanma meydana gelir. Aşağıdaki Şekil-2.32'de bazı emisyonların değişimi yakma havasına bağlı olarak verilmiştir.

Yanma odasında kükürtdioksitin tutulması, genelde yakıtta kireçtaşı ilavesiyle gerçekleştirilmektedir. Kömürün özelliğine



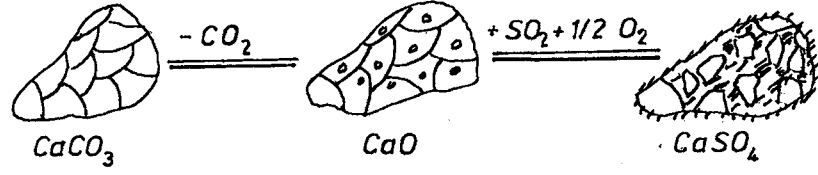
Şekil-2.32. Emisyonların hava fazlalığına bağlılığı

bağlı olarak kükürdün yanmasıyla oluşan kükürtdioksitin bir bölümü CaCO_3 (kireçtaşı) ile reaksiyona girerek sülfatlı bileşikler halinde yanma odasında tutulmaktadır. Kükürtdioksit, belirli bir sıcaklık bölgesinde ($650-1250^\circ\text{C}$) CaO ile yeterli süre temas etmesi durumunda CaSO_4 'a dönüşür. Aşağıdaki Şekil-2.33, kireçtaşı ile kükürtdioksitin tutulması reaksiyonunu vermektedir.

Farklı fiziksel ve kimyasal yapıya sahip kireçtaşlarının kükürtdioksit tutma kapasiteleri de farklılık göstermektedir (%20-64 arasında) /AR (1991)/.

Araştırmalar sonucunda, ızgaralı yakmalarda Ca/S oranının $2/3$ olması halinde %60'a varan SO_2 azalmasına erişilmiştir /DAVIDS (1985)/.

NO_x oluşumu, özellikle 1000°C 'in üzerinde aşırı artış gösterdiğinden, yanma odası sıcaklığının düşürülmesi, yanmanın olabildiğince az hava ile yapılması bu emisyonu azaltabilir.



Şekil-2.33. Kireçtaşı ile kükürtdioksit tutma reaksiyonu
/ATAKAN (1987)/

Akışkan yataklı kazanlarda yatak sıcaklığı düşük tutulduğundan (800-900°C) NO_x oluşumu kontrol altında tutulmaktadır. Bu nedenle akışkan yatak teknolojisi, NO_x emisyonu kontrolunda etken bir araçtır /DURMAZ (1987), SCHULTES (1987)/.

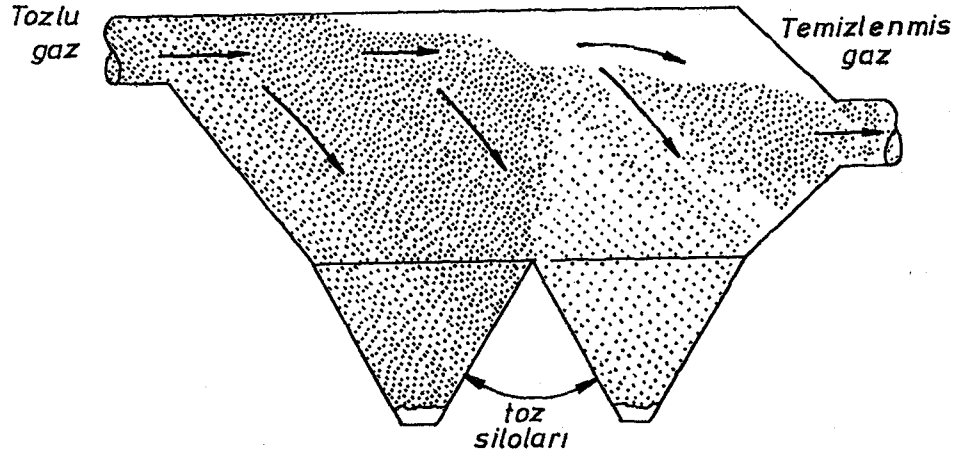
2.7.4. Zararlı Emisyonların Baca Gazlarından Arıtılması

Yanma sonucu oluşan baca gazlarında kükürtdioksit, azotoksit ve toz emisyonlarının azaltılmasına çalışılır. Ayrıca duman gazlarının bir kısmı yanma bölgesine geri beslenerek yanmamış kısımların yanması sağlanabilir.

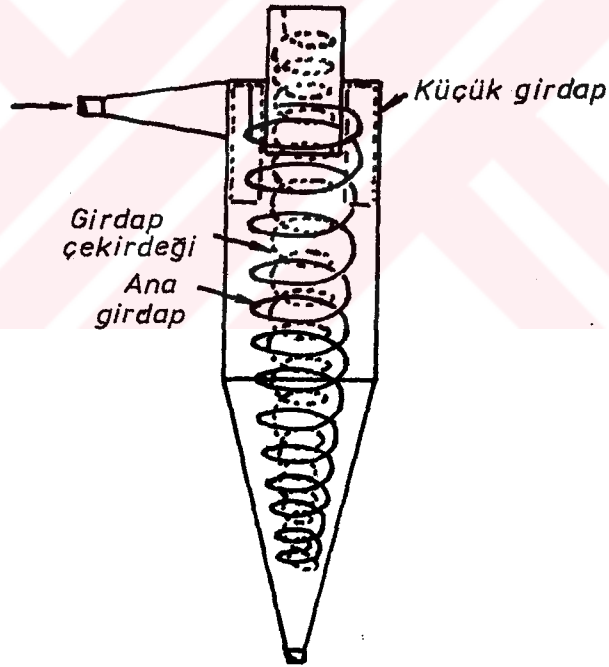
Toz emisyonlarının azaltılmasında; toz konsantrasyonuna, toz irilik derecesine, toz tanecik özelliklerine ve yakma sisteminin büyüklüğüne göre çeşitli yöntemler uygulanır. Yerçekim kuvveti, santrüfuj kuvvet, atalet kuvveti ile çarpışma, direk kesişme, difüzyon ve elektrostatik kuvvet esaslarına dayanan yöntemler kullanılır.

Yerçekim kuvveti esasına göre toz tutma, ancak 50 mikrondan daha iri tozlar için (/MUEZZİNOĞLU (1987)/'na göre 5-10 mikrondan büyük tozlar için) kullanılabilir /SİVRİOĞLU (1991)/. Bu prensibe göre çalışan bir çökeltim odası Şekil-2.34'te verilmiştir.

Santrüfuj kuvvet prensibinde, gazın bir girdap (vorteks) akışta dönmeye zorlandığı siklon filtreler kullanılır. Şekil-2.35'te tipik bir şeması görülen siklona gaz, silindirik bölümün üst kısmından teğetsel olarak gövdeye girer ve konik



Şekil-2.34. Bir çökeltim odasının yapısı ve çalışma şekli /MUEZZİNOĞLU (1987)/



Şekil-2.35. Tipik bir siklon şeması /SIVRIOĞLU (1991)/

bölümden aşağıya doğru bir girdap biçiminde iner. Daha sonra yukarıya doğru çıkarak gaz çıkış borusundan siklonu terk eder. Santrüfuj kuvvetlerin etkisiyle siklon duvarlarına itilen tozlar, yerçekimi kuvveti etkisiyle siklonun alt kısmında toplanırlar. Siklonlar 5 mikronda büyük tozların tutulmasında kullanılırlar. Atalet kuvveti prensibine göre

çalışan toz tutucularda, içerisinde toz tanecikleri bulunan bir gaz kütlesi akım esnasında Şekil-2.36'daki gibi perdelerle karşılaşır, tozların bir kısmı yollarına aynı hızla devam etme eğilimleri yüzünden perdeler arasına çarpıp kalırlar.

Yukarıdaki prensiple, küçük toz taneciklerini ayırmak mümkün değildir. Bu nedenle, tozlu gazın sıvı damlalar içerisinde direk temas yoluyla absorblanması prensibine göre çalışan yağ toplayıcılar veya 0.5 mikrona kadar tozları yüksek verimlerde tutabilen torba filtreler kullanılır.

Büyük hacimsel debilerdeki tozlu gazların temizlenmesinde elektro-filtreler kullanılır (Şekil-2.37). Elektro-filtreler, bir gaz akışı içerisindeki toz taneciklerini elektriksel bir yükü yükleyerek toplarlar. Yüklenen tanecikler, zıt yükü yüklenmiş bir plakadan meydana gelmiş toplama elektroduna sürüklenirler. Nötürleştirilen tanecikler, yerçekimi etkisiyle filtreden boşaltılırlar.

Yanma sonucu oluşan duman gazlarındaki kükürtdioksiti tutmak için, SO_2 'in çözünmesi esasına dayanan yağ yıkama (adsorpsiyon) yöntemleri ile SO_2 'in çözünmeden kuru olarak bir yüzeyde tutulması esasına dayanan yüzeysel tutma (adsorpsiyon) yöntemleri kullanılır /MENIG (1977)/.

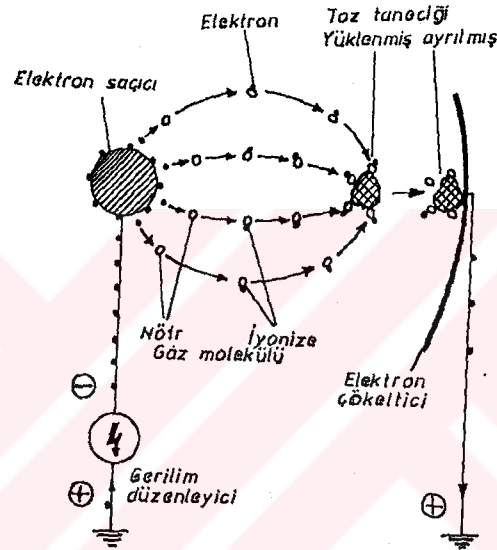
Yüzeysel tutmada (adsorpsiyon); kirli gaza kireç, kireçtaşı, NaOH, Na_2CO_3 vb. kükürtdioksit tutucu olarak enjekte edilir /KAYTAKOĞLU (1991)/. Bu yöntemde kükürt giderme verimi %90'lara ulaşabilmektedir.

Kükürt gidermede, aktif kok yöntemi de kullanılmaktadır. Bu yöntemde SO_2 , hareketli bir kömür yatakta SO_3 'e oksitlenerek H_2SO_4 olarak adsorplanmakta, kok rejenere edilerek tekrar kullanılabilir. Bu sisteme NH_3 beslenmesiyle NO_x giderimi de sağlanabilir /KNOBLAUCH (1985)/. Aşağıdaki Şekil-2.38'de, duman gazlarındaki kükürt ve azotun birlikte ayrıldığı aktif kok yöntemi görülmektedir.

Duman gazlarından kükürtdioksitin adsorpsiyonunda yağ



Şekil-2.36. Bir atalet ayırıcının çalışma prensibi
/MUEZZİNOĞLU (1987)/

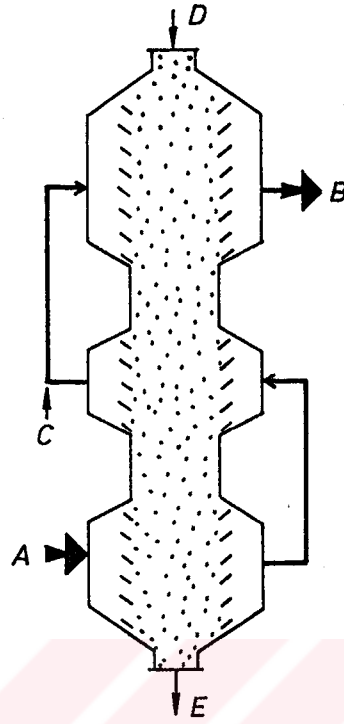


Şekil-2.37. Bir elektrofiltrenin çalışma şeması/LURGI (1982)/

yöntemler olarak; kalsiyum yöntemi, sodyum yöntemi, magnezyum yöntemi ve çift alkali yöntemleri kullanılmaktadır. Aşağıdaki Çizelge-2.7'de yaş yıkama yöntemleri, absorber ve reaksiyon ürünleri ile birlikte verilmiştir.

Bu yöntemlerde %90'dan fazla kükürt giderme derecesine erişilebilir. Aşağıdaki Şekil-2.39'da kalsiyum yöntemine göre çalışan bir kükürt giderme sisteminin yıkayıcısı görülmektedir.

Duman gazlarından NO_x giderimi için, genelde katalizörlü ve katalizörsüz kuru arıtma yöntemleri kullanılır. Redüksiyon maddesi olarak amonyak kullanılır (SCR Yöntemi). Azotoksit redüksiyonu şu üç mekanizma ile gerçekleşebilir:



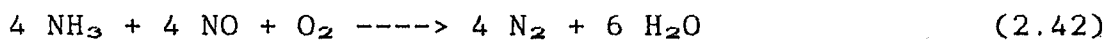
A Kirli gaz
B Temiz gaz
C Amonyak
D Aktif Kok
E Aktif Kok (Yüklenmiş)

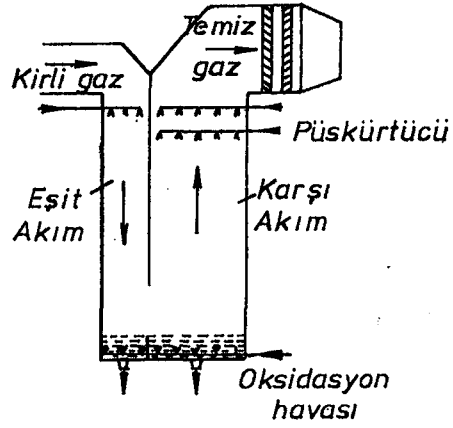
Şekil-2.38. Aktif kokla duman gazlarındaki SO₂ ve NO_x'in birlikte giderimi /MENIG (1987)/

Çizelge-2.7.Yaş yıkama yöntemleriyle duman gazlarından kükürt giderimi /MENIG (1987)/

Yöntemler	Absorber	Urünler
Kalsiyum yöntemi	CaO, CaCO ₃	CaSO ₄
Sodyum yöntemi	Sodyum Asetat	Na ₂ SO ₃
Magnezyum yöntemi	MgO	MgSO ₄
Amonyak yöntemi	NH ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄
Çift alkali yöntemler	Na ₂ SO ₃ , CaO	..
	Na ₂ SO ₃ , CaCO ₃	CaSO ₄
	(NH ₄) ₂ SO ₃ , CaO	
	H ₂ SO ₄ , CaCO ₃	

- Metaloksitin katalizörlüğünde, amonyak (NH₃) ile azot-oksitin katalitik redüksiyonu





Şekil-2.39. Kalsiyum yöntemi ile duman gazlarından kükürt giderimi /ESCHE (1985)/

- Yanmayan karbon parçalarının katalizörlüğünde, NH_3 ile azotoksitin katalitik redüksiyonu,
- Yanmayan karbon ile azotoksitin direk redüksiyonu



SCR katalizörlerinde, aktif komponent olarak titandioksit (TiO_2), vanadyumpentoksit (V_2O_5), wolframoksit (WO_3), molibtenoksit (MoO_3), demiroksit (Fe_2O_3) kullanılabilir /GEPPELT (1989)/.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

YANMA SONUCU OLUŞAN EMİSYONLARIN AZALTILABİLİRLİĞİ

3.1. Yakıtın (Kömürün) Hazırlanması

Deneylerde kullanılan kömürler:

- Soma (Kısrakdere) linyit kömürü,
- Dursunbey linyit kömürü,
- Çan (Emek) linyit kömürü,
- Orhaneli linyit kömürü.

Bu kömürlerden deney yakıtı olarak; büyük kömür yığınının çeşitli yerlerine açılan kuyuların bir çok noktasından her bir cins için 200 kg alındı. Alınan bu kömürler hava ile temas etmeyecek şekilde yerleştirildi.

3.1.1. Analiz için Numune Alma

Numune alınacak kömürler düz bir yere yığıldı ve kare şeklinde düzgün olarak yayıldı. Yığını temsil edecek şekilde yaklaşık 20 yerden parça alındı. Bu parçalar dörtlenerek birer parçası alındı. Yaklaşık 500-1000 gr arası ayrılan bu parçalar, analizleri yapılmak üzere plastik torbalar içine yerleştirilerek ağızları kapatıldı.

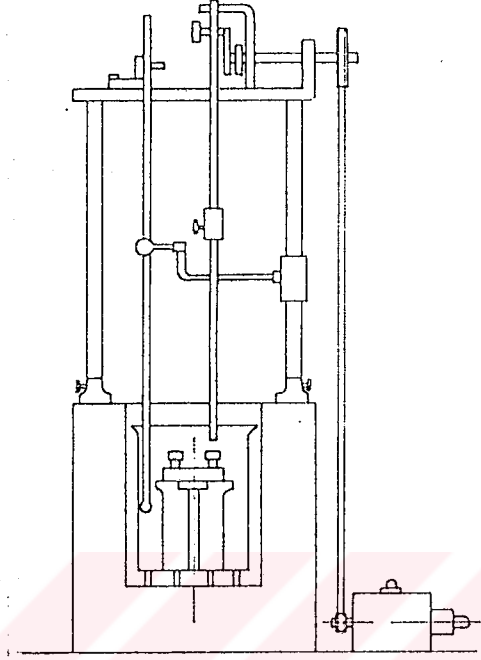
Numune alınan ve deneylerde kullanılacak kömürler varillere yerleştirildi ve varillerin ağızları naylon torbalarla kapatıldı.

Kömür numuneleri, bu şekilde TS 4744 ve TS 5125'te belirtilen esaslara göre temin edilmiş oldu.

3.1.2. Deney Yakıtlarının Kısa Analizinin Yapılması

3.1.2.1. Yakıt Isıl Değerinin Tesbiti

Yakıt ısıl değeri kalorimetre kabıyla belirlendi (Şekil-3.1).



Şekil-3.1. Kalorimetre kabı

Bu kabın manto kısmının içinde ve ısıl değeri belirle-
yeceğimiz orta kısmında 3 litre su bulunmaktadır.

Önce, ısıl değeri bilinen benzoik asit bu kapta yakılarak kap
sabitini belirlendi.

Isıl değeri belirlenecek kömürden hazırlanan, tamamı 200
mikron elekten geçirilmiş numuneden yaklaşık 1 gr alındı.
Kömür numunesinin tesbiti için 1 cm'si 0.7 kalori veren demir
telden 12-13 cm kesilerek ağırlığı tartıldı. Platin kroze-
ye tel kömürle birlikte yerleştirildi ve preslenerek aspirin
şekline getirildi. Birbirine tesbitlenen kömürle tel, kalori-
metre kabının içindeki bomba denilen kısmın kapağına yerleş-
tirildi. Bombaya, yanma sonucu oluşan gazları absorbe etmek
için 5 cc su alındı. Bomba içindeki pis hava boşaltılarak
yerine 20-25 atmosfer basınçta 7.5 litre oksijenle
dolduruldu.

Kalorimetre kabının mantosu içinde ve ortasındaki 3 litrelik
suyun oda sıcaklığına gelmesi sağlandıktan sonra bomba,

kalorimetre kabının içine yerleştirildi.

3 litrelik su kalorimetre kabındaki bir mikser aracılığı ile sürekli karıştırılarak ısının su içinde homojen dağılımı sağlandı.

Elektrik akımıyla yakmadan önce sıcaklık dengelendi. Bu durumda 3 adet okuma yapıldı. Sıcaklıkta değişim olmadığı durumda yakma işlemine geçildi. Dakikada bir kere sıcaklık değişimi okundu. Bu işlem 6 dakika sürdürüldü. Sıcaklık değişimi olmadığında yakma işlemi tamamlanarak elektrik akımı kesildi. 10 dakika beklendikten sonra bomba açıldı. Yakıtın ısı değerinin belirlenebilmesi için yakma sırasında oluşan diğer ısılardan bulunması gerekir. Bunun için kalan tel uzunluğu ölçüldü ve yanan kısım bulundu. Bu kısma karşılık gelen ısı tesbit edildi. Bombanın içi yaklaşık 400 cc su ile yıkanarak beyaz bantla erlene süzüldü. Ocak üzerinde belirli bir süre kaynatılarak CO₂ uçuruldu. Kalan kısmın içine N/4'lük NaOH çözeltisinden pembe oluncaya kadar ilave edildi. Belirteç olarak 3 damla fenol-ftalein damlatıldı. N/2'lik HCl çözeltisiyle pembemsi renk giderilinceye kadar nötrleştirme yapıldı. Normaliteler denkleştirilerek ne kadar NaOH kullanıldığı tesbit edildi ve buna karşılık olan ısı değeri bulundu. Yabancı ısılardan oluşan bu değer ile yanan telin oluşturduğu ısı değeri kalorimetre kabında bulunan değerden düşülerek "Havada Kuru Kömürün Yukarı Isıl Değeri" bulundu.

Bu değerden, istenildiğinde kül yüzdesine göre kuru kömürde aşağı kalori değeri, buradan da toplam neme göre orijinal kömürde aşağı kalori değeri bulunabilir.

3.1.2.2. Kömürde Kükürt Oranının Tesbiti

Isıl değer tesbitinde NaOH ve HCl ilavesi işlemleri yapıldıktan sonra bu karışıma, kaynama durumunda 10 cc BaCl₂ ilave edildi. BaSO₃ çökmesinin tamamlanmasına kadar beklendikten (yaklaşık 2.5-3 saat) sonra mavi bant süzgeç kağıdı ile süzüldü. Kalan kısım porselen krozeyle alındı. 900-1000°C

arasında 0.5 saat yakıldı ve desikatörde soğutuldu. Kalan kısım tartılarak yanıcı kükürt oranı tesbit edildi.

3.1.2.3. Kömürde Nem Oranının Tesbiti

100-500 gr olarak alınan ve 0-10 mm'ye inceltilmiş kömür numunesi, 45°C'lik bir ortamda kurutuldu. Sabit tartıma gelince azalan miktar tesbit edildi.

$$\% \text{ Nem} = \frac{\text{ilk numune ağırlığı} - \text{Kurutulduktan sonraki ağırlığı}}{\text{ilk numune ağırlığı}}$$

eşitliği ile kömürlerin kaba nemleri bulundu.

Kaba nemi belirlenen kömür numunesi, 105°C sıcaklıktaki etüvde sabit tartıma gelinceye kadar bekletildi. Azalan miktar, bünye nemini vermektedir.

Kaba ve bünye nemleri toplanarak, kömürdeki toplam nem oranı bulunabilir.

3.1.2.4. Kömürde Kül Oranının Tesbiti

Kaba ve bünye nemi alınan, 200 mikronluk elekten geçirilen toz halindeki kömür numunesinden 1 gr alındı. Porselen kroze içinde, elektrik ocağı ile beyazlaşınca kadar yakıldı. Sonra 800°C'da 15-20 dakika tutuldu. Kalan miktar, havada kuru kömürde kül oranını vermektedir. Bünye nemi de gözönüne alınarak yapılan hesaplama, kuru kömürde kül oranı tesbit edilebilir.

3.1.2.5. Kömürde Uçucu Madde Oranının Tesbiti

Kaba ve bünye nemi alınan, 200 mikron elekten geçirilen kömür numunesinden 1 gr alındı ve kapaklı kuarz kroze konuldu. 900°C'da 7 dakika bekletildikten sonra desikatörde soğumaya bırakıldı. Azalan miktar kömürde uçucu madde oranını vermektedir.

3.1.3. Deney Yakıtlarının Kısa Analiz Sonuçları

Çizelge 3.1 Deney yakıtlarının kısa analiz sonuçları

Kömürün Cinsi	Nem %	Kül %	Kükürt %	Uçucu Mad. %	Alt Isıl Dğ. Kcal/kg
Soma-1	18.00	12.00	1.17	43.08	4558
Soma-2	15.97	10.00	1.058	41.94	5050
Soma-3	17.19	14.17	2.00	44.20	4330
Dursunbey-1	12.50	27.00	4.17	44.13	4191
Dursunbey-2	14.77	27.92	1.70	44.71	4035
Dursunbey-3	16.80	7.21	0.72	40.62	4898
Çan-1	16.50	9.00	3.70	38.14	4987
Çan-2	15.11	13.24	2.91	38.72	4806
Orhaneli	20.00	21.00	2.79	44.95	3860

3.1.4. Yakıtların Elek Analizi

Deneyler için temin edilen kömürler, Şekil-3.5'de görülen elekte "Elek Analizleri" yapılmak üzere hazırlandı.

Elekteki tane irilik aralıkları aşağıdaki gibidir:

- > 80 mm,
- 40-80 mm arası,
- 20-40 mm arası,
- 10-20 mm arası,
- 5-10 mm arası,
- < 5 mm.

Bu tane irilik aralıklarından, < 5 mm olan kömürler ızgaralı yakma sistemleri için toz olarak kabul edildi ve yanma olmadan ızgara altına düşmesi ve çok zor yanması nedeniyle deneylerde kullanılmadı. Aynı şekilde > 80 mm tane iriliğindeki kömürler de yanma zorlukları nedeniyle deneylerde kullanılmadı. Bunların dışındaki yukarıda verilen tane irilik aralıklarında elenen kömürler deneylerde kullanılmak üzere teneke varillerde, üzerleri naylon torbalarla kapatılarak muhafaza edildi.

3.2. DeneY Yakıtları İle İlgili Hesaplamalar

DeneY yakıtları ilgili, aşağıdaki çizelgeler ve grafikler, "Bölüm (2.3.4) ve (2.3.5)"te verilen yanma eşitlikleri ve yanma diyagramlarına göre oluşturulmuŐtur.

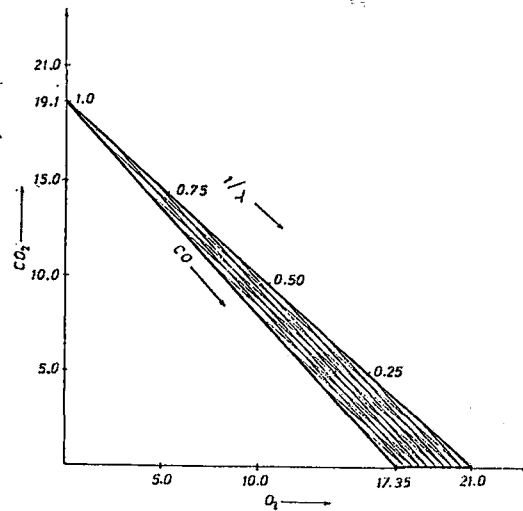
DeneYlerde kullanılan linyitler için yapılan hesaplamalarda

$$CO_{2(max)} = \% 19.1$$

olarak alındı.

Çizelge-3.2. Soma (Kısrakdere)-1 linyit kömürü için yanma hesapları sonuçları

	Birimi	Değeri
V_{YHmin}	Nm ³ /kg	5.09163
V_{DGmin}	Nm ³ /kg	5.6990
$V_{DGmin-kuru}$	Nm ³ /kg	5.47508
$V_{DGmin-eksik}$	Nm ³ /kg	6.02633
V_{SO_2}	Nm ³ /kg	0.00819
CO_{2max}	%	19.1
V_{CO_2}	Nm ³ /kg	104.5740
C	%	56.0218
$V_{COeksik}$	Nm ³ /kg	104.5740
CO_{max}	%	17.3529



Şekil-3.2. Soma-1 linyit kömürü için Oswald Yanma Üçgeni

Çizelge-3.3. Soma (Kısrakdere)-2 linyit kömürü için yanma hesapları sonuçları

	Birimi	Değeri
V_{YHmin}	Nm ³ /kg	5.5872
V_{DGmin}	Nm ³ /kg	6.1667
$V_{DGmin-kuru}$	Nm ³ /kg	5.9680
$V_{DGmin-eksik}$	Nm ³ /kg	6.5688
V_{SO_2}	Nm ³ /kg	0.007406
CO_{2max}	%	19.1
V_{CO_2}	Nm ³ /kg	113.9888
C	%	61.0654
$V_{CO_{eksik}}$	Nm ³ /kg	113.9888
CO_{max}	%	17.35306

Çizelge-3.4. Soma (Kısrakdere)-3 linyit kömürü için yanma hesapları sonuçları

	Birimi	Değeri
V_{YHmin}	Nm ³ /kg	4.8619
V_{DGmin}	Nm ³ /kg	5.4835
$V_{DGmin-kuru}$	Nm ³ /kg	5.2697
$V_{DGmin-eksik}$	Nm ³ /kg	5.8002
V_{SO_2}	Nm ³ /kg	0.014
CO_{2max}	%	19.1
V_{CO_2}	Nm ³ /kg	100.6512
C	%	53.9203
$V_{CO_{eksik}}$	Nm ³ /kg	100.6512
CO_{max}	%	17.3528

Çizelge-3.5. Dursunbey-1 linyit kömürü için yanma hesapları sonuçları

	Birimi	Değeri
V_{YHmin}	Nm ³ /kg	4.7219
V_{DGmin}	Nm ³ /kg	5.3516
$V_{DGmin-kuru}$	Nm ³ /kg	5.19619
$V_{DGmin-eksik}$	Nm ³ /kg	5.7193
V_{SO_2}	Nm ³ /kg	0.02919
CO_{2max}	%	19.1
V_{CO_2}	Nm ³ /kg	99.2468
C	%	53.1679
$V_{COeksik}$	Nm ³ /kg	99.2468
CO_{max}	%	17.3528

Çizelge-3.6. Dursunbey-2 linyit kömürü için yanma hesapları sonuçları

	Birimi	Değeri
V_{YHmin}	Nm ³ /kg	4.5647
V_{DGmin}	Nm ³ /kg	5.2036
$V_{DGmin-kuru}$	Nm ³ /kg	5.01986
$V_{DGmin-eksik}$	Nm ³ /kg	5.52528
V_{SO_2}	Nm ³ /kg	0.0119
CO_{2max}	%	19.1
V_{CO_2}	Nm ³ /kg	95.8793
C	%	51.3639
$V_{COeksik}$	Nm ³ /kg	95.8793
CO_{max}	%	17.35283

Çizelge-3.7. Dursunbey-3 linyit kömürü için yanma hesapları sonuçları

	Birimi	Değeri
V_{YHmin}	Nm ³ /kg	5.4341
V_{DGmin}	Nm ³ /kg	6.0225
$V_{DGmin-kuru}$	Nm ³ /kg	5.8135
$V_{DGmin-eksik}$	Nm ³ /kg	6.3988
V_{SO_2}	Nm ³ /kg	0.00504
CO_{2max}	%	19.1
V_{CO_2}	Nm ³ /kg	111.0383
C	%	59.4848
$V_{COeksik}$	Nm ³ /kg	111.0383
CO_{max}	%	17.352905

Çizelge-3.8. Çan (Emek)-1 linyit kömürü için yanma hesapları sonuçları

	Birimi	Değeri
V_{YHmin}	Nm ³ /kg	5.5238
V_{DGmin}	Nm ³ /kg	6.10696
$V_{DGmin-kuru}$	Nm ³ /kg	5.9017
$V_{DGmin-eksik}$	Nm ³ /kg	6.4959
V_{SO_2}	Nm ³ /kg	0.0259
CO_{2max}	%	19.1
V_{CO_2}	Nm ³ /kg	112.7225
C	%	60.3870
$V_{COeksik}$	Nm ³ /kg	112.7225
CO_{max}	%	17.35284

Çizelge-3.9. Çan (Emek)-2 linyit kömürü için yanma hesapları sonuçları

	Birimi	Değeri
V_{YHmin}	Nm ³ /kg	5.34146
V_{DGmin}	Nm ³ /kg	5.9352
$V_{DGmin-kuru}$	Nm ³ /kg	5.7472
$V_{DGmin-eksik}$	Nm ³ /kg	6.32585
V_{SO_2}	Nm ³ /kg	0.02037
CO_{2max}	%	19.1
V_{CO_2}	Nm ³ /kg	109.7725
C	%	58.8067
$V_{COeksik}$	Nm ³ /kg	109.7725
CO_{max}	%	17.35298

Çizelge-3.10. Orhaneli linyit kömürü için yanma hesapları sonuçları

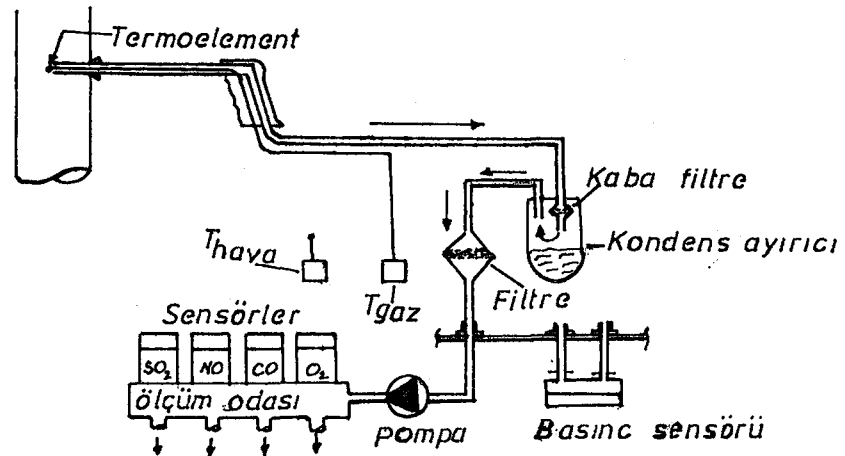
	Birimi	Değeri
V_{YHmin}	Nm ³ /kg	4.38848
V_{DGmin}	Nm ³ /kg	5.03759
$V_{DGmin-kuru}$	Nm ³ /kg	4.78879
$V_{DGmin-eksik}$	Nm ³ /kg	5.27094
V_{SO_2}	Nm ³ /kg	0.01953
CO_{2max}	%	19.1
V_{CO_2}	Nm ³ /kg	91.46607
C	%	48.99968
$V_{COeksik}$	Nm ³ /kg	91.46607
CO_{max}	%	17.35287

3.3. Deney Ekipmanları

Yanma sonucu oluşan duman gazlarının bacadaki sıcaklığı, emisyonları, basıncı aşağıdaki Çizelge-3.11'de teknik özellikleri verilen Gaz Analiz Computer MSI 2000 cihazı (Şekil-3.3) ile belirlendi.

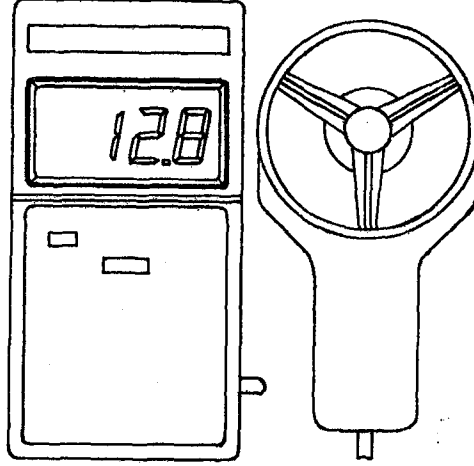
Çizelge-3.11. Gaz Analiz Computer MSI 2000 cihazının teknik özellikleri

Göstergeler	Ölçüm Prensipleri	Ölçüm Alanı	Hassası.	Ömür
Hava Sıcakl.	PTC-Direnci	0-100°C	1°C	—
Gaz Sıcakl.	NiCr-Ni t.e.	0-1200°C	1°C	—
Oksijen	Elekt. Kimy.	% 0-20.9	% 0.1	6-9ay
Karbonmonoks.	Elekt. Kimy.	0-4000 ppm	1 ppm	1-2yıl
Karbondiyoksit	Hesapla	Yakıtta göre	% 0.1	—
Kükürtdiyoksit	Elekt. Kimy.	0-4000 ppm	1 ppm	2-3yıl
Azotoksit	Elekt. Kimy.	0-1000 ppm	1 ppm	2-3yıl
Basınç Farkı	DMS Köprüsü	(-10)-12 hPa	0.01hPa	—
Yanma Verimi	Hesapla	% 0-100	% 0.1	—
Hava Fazlalığı	Hesapla	1.0-∞	0.01	—
İs Sayısı	Filtre Kağıdı	0-9 (Bac.)	Gaz debisi elk. emme pompasıyla	—



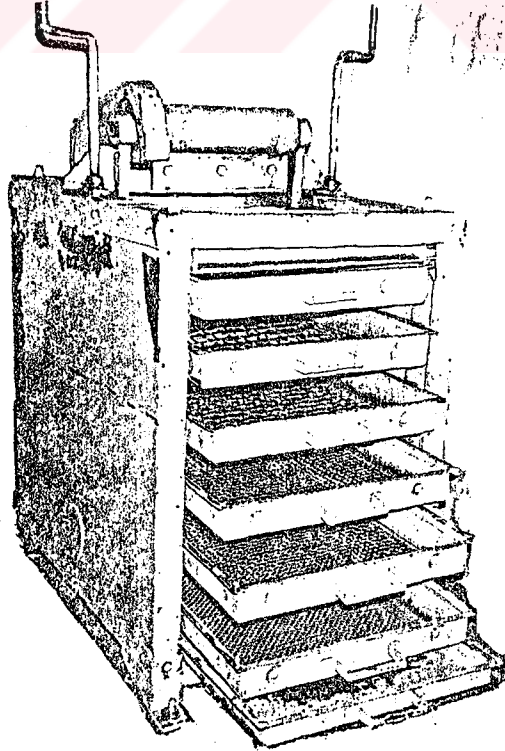
Şekil-3.3. Gaz Analiz Computer MSI 2000 ölçüm cihazı

Yanma bölgesine gönderilen yakma havasının hızı Şekil-3.4'de görülen "Dijital Anemometer" ile ölçüldü.



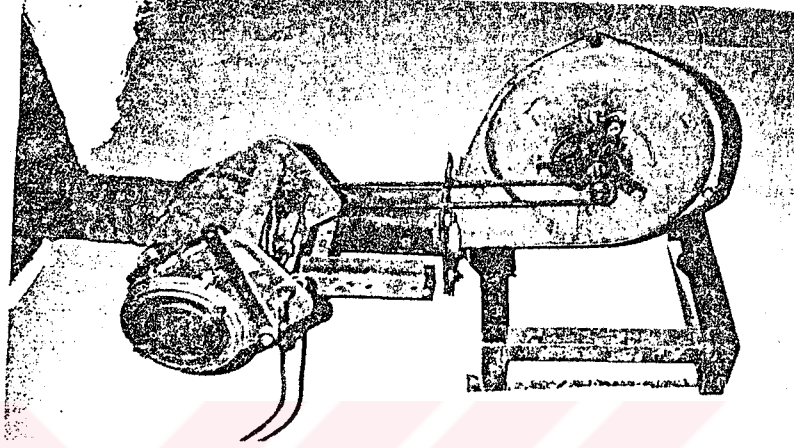
Şekil- 3.4. Dijital Anemometer (Hız Ölçer)
(Ölçüm aralığı 0.2-40 m/sn) /USER-MANUAL/

Kömürlerin elek analizi Bölüm 3.1.4'te belirtildiği gibi aşağıdaki Şekil-3.5'te görülen "Elekte" yapıldı.



Şekil-3.5. Elek (Tahrik: 0.75 KW 1400 d/d'lı elektrik motoru)

Yakma havası, sanayi tipi bir dikiş makinası motorunun tahrik ettiği (Güç = 1/3 -1/7 HP) körükle üretildi (Şekil-3.6).



Şekil-3.6. Doğru akım motoru ve körük

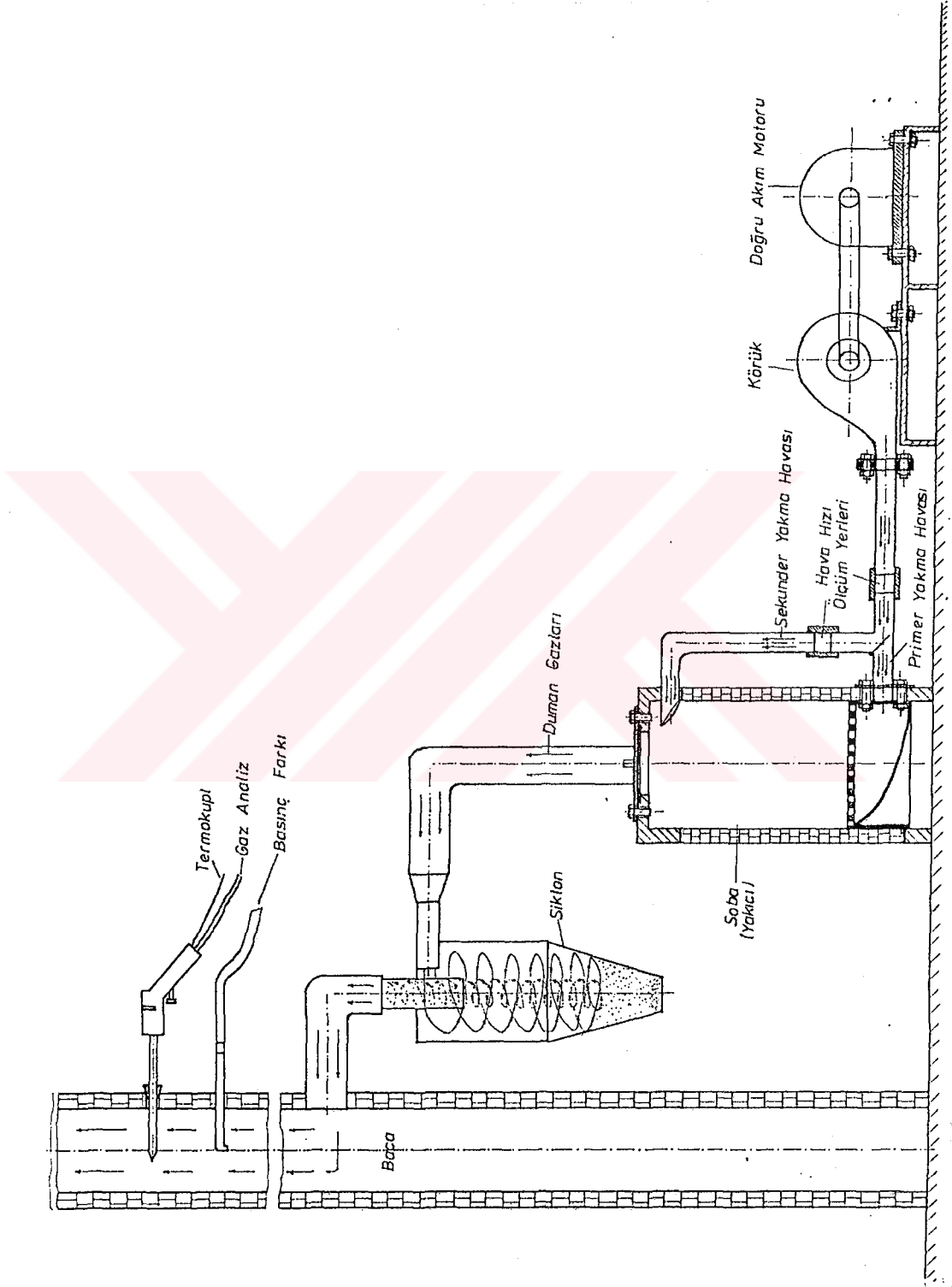
3.4. Deney Düzenegi

Bölüm 3.1.3'te analiz sonuçları verilen deney yakıtlarının değişik parametreler altında yakılması ve değerlendirilmesi için Şekil-3.7'de görülen "Deney Düzenegi" hazırlandı.

3.5. Deneylerin Yapılışı ve Bulgular

3.5.1. Yakıtların (Kömürlerin) Tane Iriliklerine Göre Yakılması

Elek analizi ile tane iriliklerine göre ayrılan kömürler, Şekil-3.7'de verilen deney düzenegine her defasında aynı miktar olacak şekilde yüklendi. İlk deneyler, yakma havasının doğal çekişle sağlandığı ve siklon tertibatı olmadığı duruma göre yapıldı. Yakıt ve yakma sistemi ile ilgili parametrelerle, yakma sırasında alınan sonuçlar çizelgeler halinde verildi. Bu sonuçlardan, kömür tane iriliğine göre emisyonların değişimini gösteren grafikler çizildi. Aynı deneyler, sisteme yakma havası tertibatı ve siklon ilave edilerek yapıldı.



Şekil-3.7. Deney Düzenegi

Çizelge-3.12. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

Kömürün cinsi: Çan (Emek)-1 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 16.5	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 9.0	
Doldurma yüksekliği	: 365 mm			S : % 3.70	
Boş yükseklik	: 335 mm			Hu : 4987 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	221	4.3	17.4	185	969
Minimum	187	3.2	16.2	81	749
Ortalama	205	3.78	16.8	133	832
Düzeltilmiş	—	—	—	443	2776
İslilik: 7 (Bac)	Kül miktarı: 2.300 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.13. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

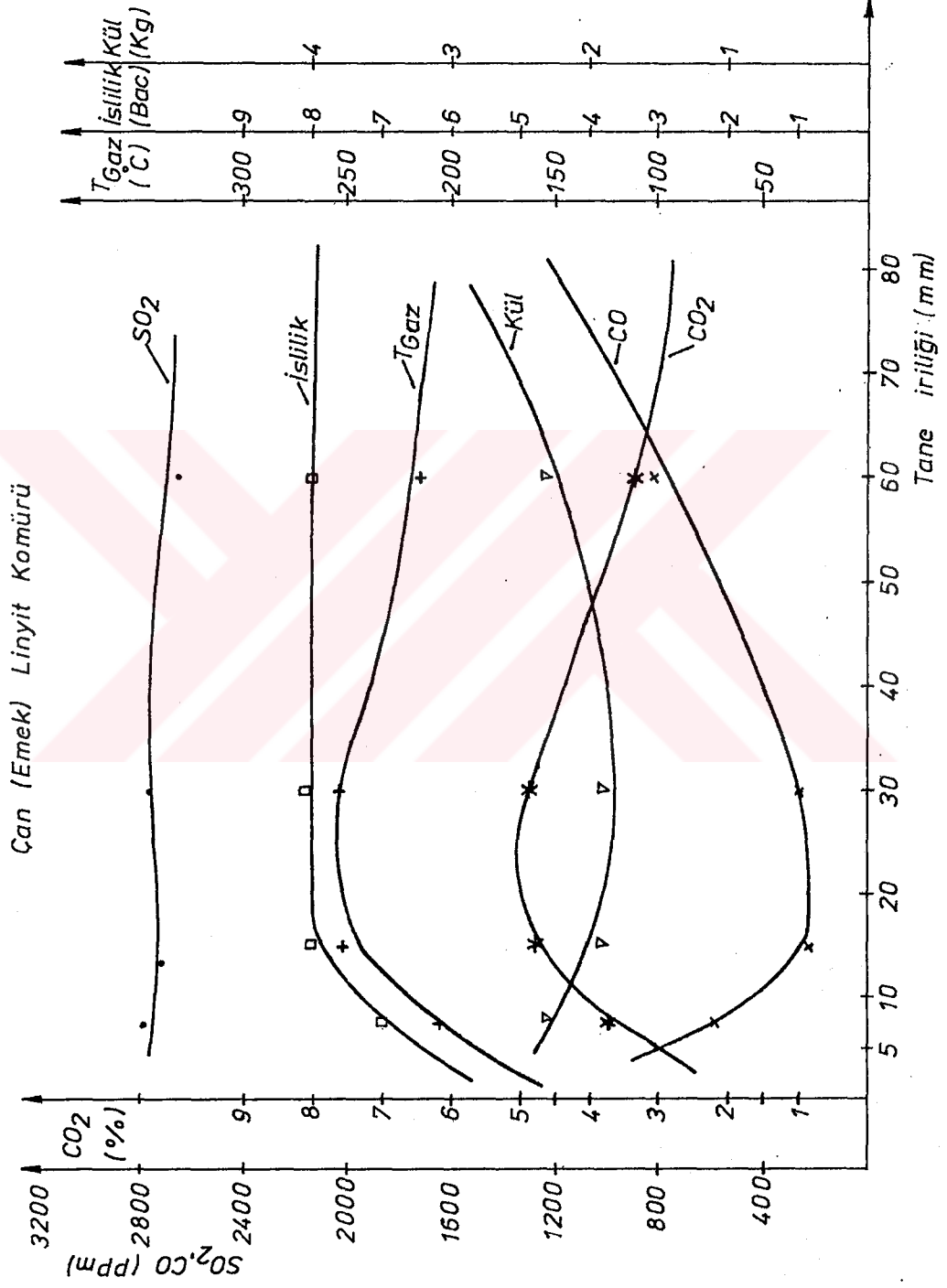
Kömürün cinsi: Çan (Emek)-1 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 16.5	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 9.0	
Doldurma yüksekliği	: 370 mm			S : % 3.70	
Boş yükseklik	: 330 mm			Hu : 4987 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	270	5.3	16.6	99	1219
Minimum	232	4.0	15.2	68	689
Ortalama	252	4.72	15.81	83	1002
Düzeltilmiş	—	—	—	223	2705
İslilik: 8 (Bac)	Kül miktarı: 1.900 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.14. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

Kömürün cinsi: Çan (Emek)-1 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 16.5	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 9.0	
Doldurma yüksekliği	: 380 mm			S : % 3.70	
Boş yükseklik	: 320 mm			Hu : 4987 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	269	5.5	16.4	117	1148
Minimum	238	4.2	14.9	95	957
Ortalama	256	4.9	15.5	103	1084
Düzeltilmiş	—	—	—	262	2759
İslilik: 8 (Bac)	Kül miktarı: 1.900 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.15. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

Kömürün cinsi: Çan (Emek)-1 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 40 - 80 mm			Nem: % 16.5	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 9.00	
Doldurma yüksekliği	: 385 mm			S : % 3.70	
Boş yükseklik	: 315 mm			Hu : 4987 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	220	3.6	17.5	453	738
Minimum	194	3.2	17.0	125	589
Ortalama	214	3.35	17.2	219	716
Düzeltilmiş	—	—	—	806	2640
İslilik: 8 (Bac)	Kül miktarı: 2.300 (kg)		Lamda: —		



Şekil-3.8. Çizelge-3.12-15'deki sonuçlara göre emisyonların kömür tane iriliği ile değişimi

Çizelge-3.16. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-1 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 18.00	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 12.00	
Doldurma yüksekliği	: 365 mm			S : % 1.17	
Boş yükseklik	: 335 mm			Hu : 4558 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	250	5.1	16.5	44	400
Minimum	230	4.1	15.4	28	372
Ortalama	241	4.55	15.9	37	386
Düzeltilmiş	—	—	—	101	1059
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.450 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.17. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

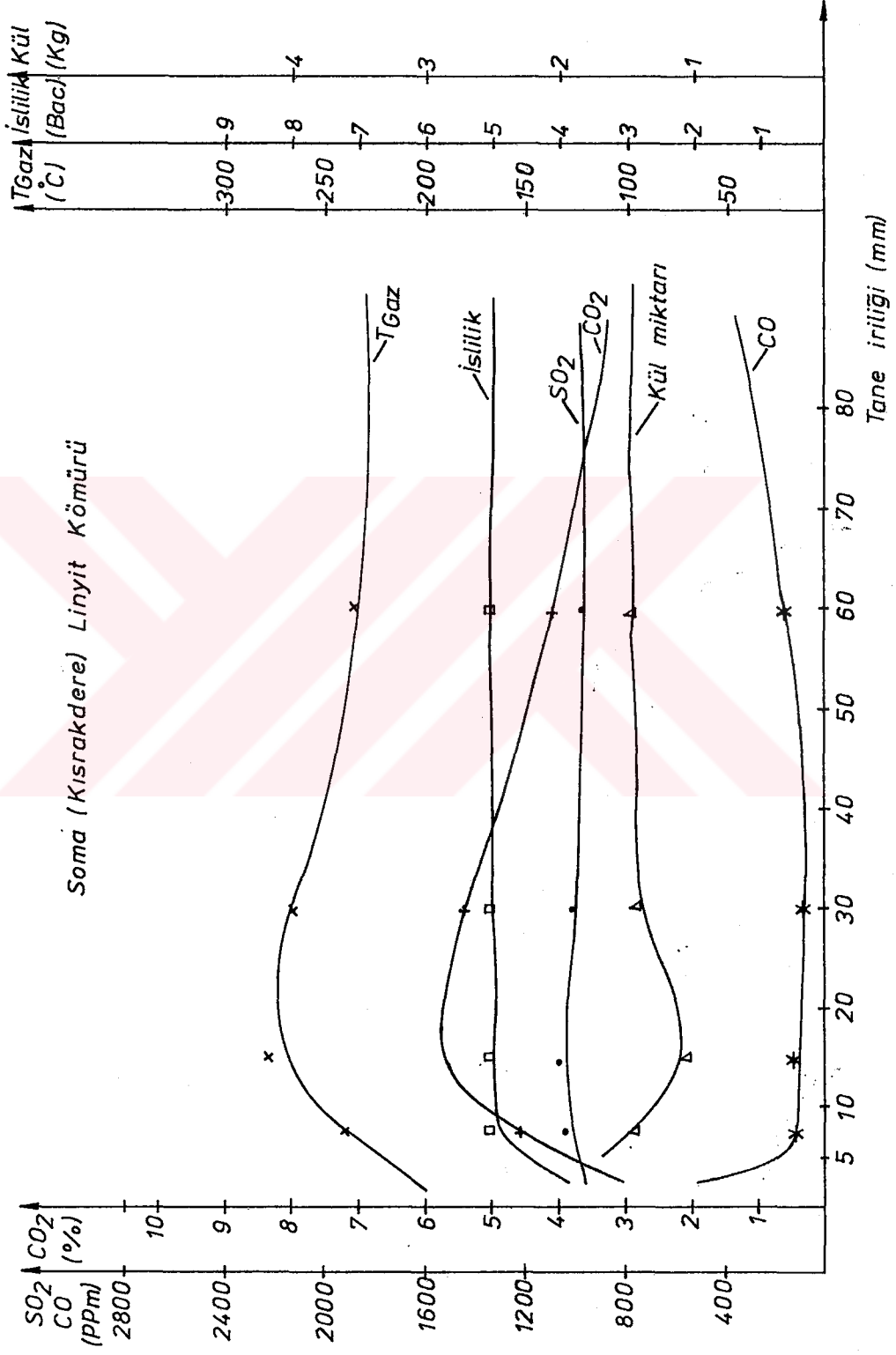
Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-1 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 18.00	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 12.00	
Doldurma yüksekliği	: 370 mm			S : % 1.17	
Boş yükseklik	: 330 mm			Hu : 4558 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	293	6.4	15.6	54	587
Minimum	272	4.9	13.9	40	470
Ortalama	278	5.78	14.6	48	489
Düzeltilmiş	—	—	—	105	1070
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.050 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.18. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-1 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 18.00	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 12.00	
Doldurma yüksekliği	: 380 mm			S : % 1.17	
Boş yükseklik	: 320 mm			Hu : 4558 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	280	5.7	15.4	39	491
Minimum	255	5.1	14.7	34	405
Ortalama	269	5.4	14.9	36	442
Düzeltilmiş	—	—	—	82	1014
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.400 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.19. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-1 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 40 - 80 mm			Nem: % 18.00	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 12.00	
Doldurma yüksekliği	: 385 mm			S : % 1.17	
Boş yükseklik	: 315 mm			Hu : 4558 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	246	4.3	16.9	90	368
Minimum	224	3.7	16.2	34	253
Ortalama	236	4.05	16.52	54	327
Düzeltilmiş	—	—	—	168	1023
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.450 (kg)		Lamda: —		



Şekil-3.9. Çizelge-3.16-19'daki sonuçlara göre emisyonların kömür tane iriliği ile değişimi

Çizelge-3.20. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

Kömürün cinsi: Dursunbey-1 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 12.5	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 27.00	
Doldurma yüksekliği	: 365 mm			S : % 4.17	
Boş yükseklik	: 335 mm			Hu : 4191 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	201	3.1	18.1	202	630
Minimum	177	2.6	17.6	84	557
Ortalama	188	2.78	17.9	146	598
Düzeltilmiş	—	—	—	659	2700
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 2.720 (kg)			Lamda: —	

Çizelge-3.21. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

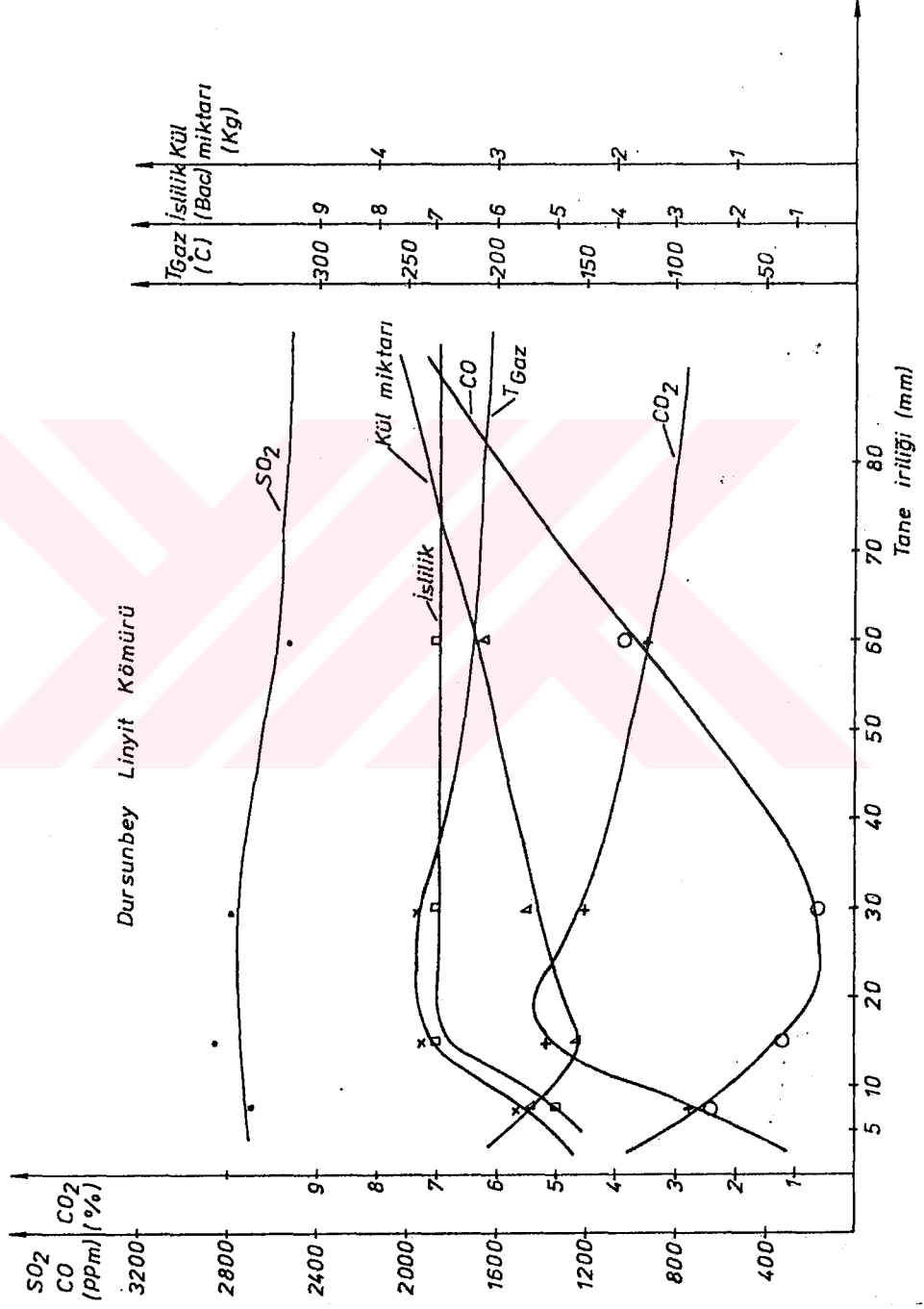
Kömürün cinsi: Dursunbey-1 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 12.5	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 27.00	
Doldurma yüksekliği	: 370 mm			S : % 4.17	
Boş yükseklik	: 330 mm			Hu : 4191 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	248	4.6	15.9	140	1257
Minimum	232	5.4	15.0	125	1128
Ortalama	242	5.18	15.3	132	1164
Düzeltilmiş	—	—	—	342	2860
İslilik: 7 (Bac)	Kül miktarı: 2.350 (kg)			Lamda: —	

Çizelge-3.22. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

Kömürün cinsi: Dursunbey-1 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 12.5	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 27.00	
Doldurma yüksekliği:	380 mm			S : % 4.17	
Boş yükseklik	: 320 mm			Hu : 4191 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	250	4.2	16.4	80	1145
Minimum	237	4.7	15.8	56	952
Ortalama	245	4.52	16.00	67	996
Düzeltilmiş	—	—	—	187	2791
İslilik: 7 (Bac)	Kül miktarı: 2.750 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.23. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

Kömürün cinsi: Dursunbey-1 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 40 - 80 mm			Nem: % 12.5	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 27.00	
Doldurma yüksekliği:	385 mm			S : % 4.17	
Boş yükseklik	: 315 mm			Hu : 4191 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	221	4.0	17.8	453	743
Minimum	197	2.9	16.6	181	510
Ortalama	213	3.46	17.16	287	692
Düzeltilmiş	—	—	—	1046	2523
İslilik: 7 (Bac)	Kül miktarı: 3.150 (kg)		Lamda: —		



Şekil-3.10. Çizelge-3.20-23'deki sonuçlara göre emisyonların kömür tane iriliği ile değişimi

Çizelge-3.24. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsüz)

Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği	: 365 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 335 mm			Hu : 3860 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	196	3.8	17.8	119	544
Minimum	172	2.9	16.8	52	421
Ortalama	186	3.35	17.3	82	450
Düzeltilmiş	—	—	—	310	1706
İslilik: 6 (Bac)	Kül miktarı: 2.820 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.25. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsüz)

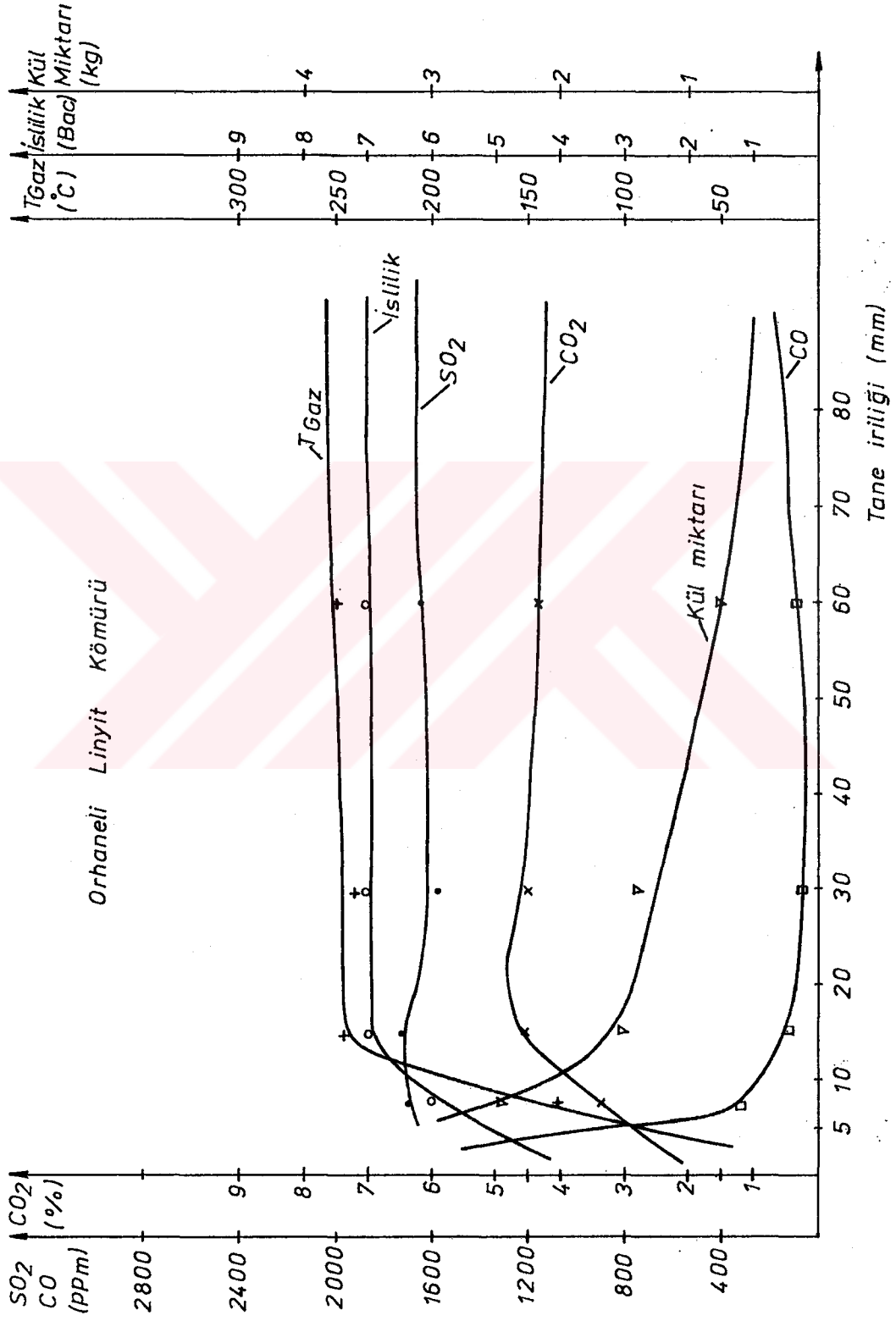
Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği	: 370 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 330 mm			Hu : 3860 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	255	4.6	16.1	62	744
Minimum	234	4.5	15.9	31	538
Ortalama	246	4.56	15.94	54	594
Düzeltilmiş	—	—	—	157	1726
İslilik: 7 (Bac)	Kül miktarı: 1.520 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.26. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

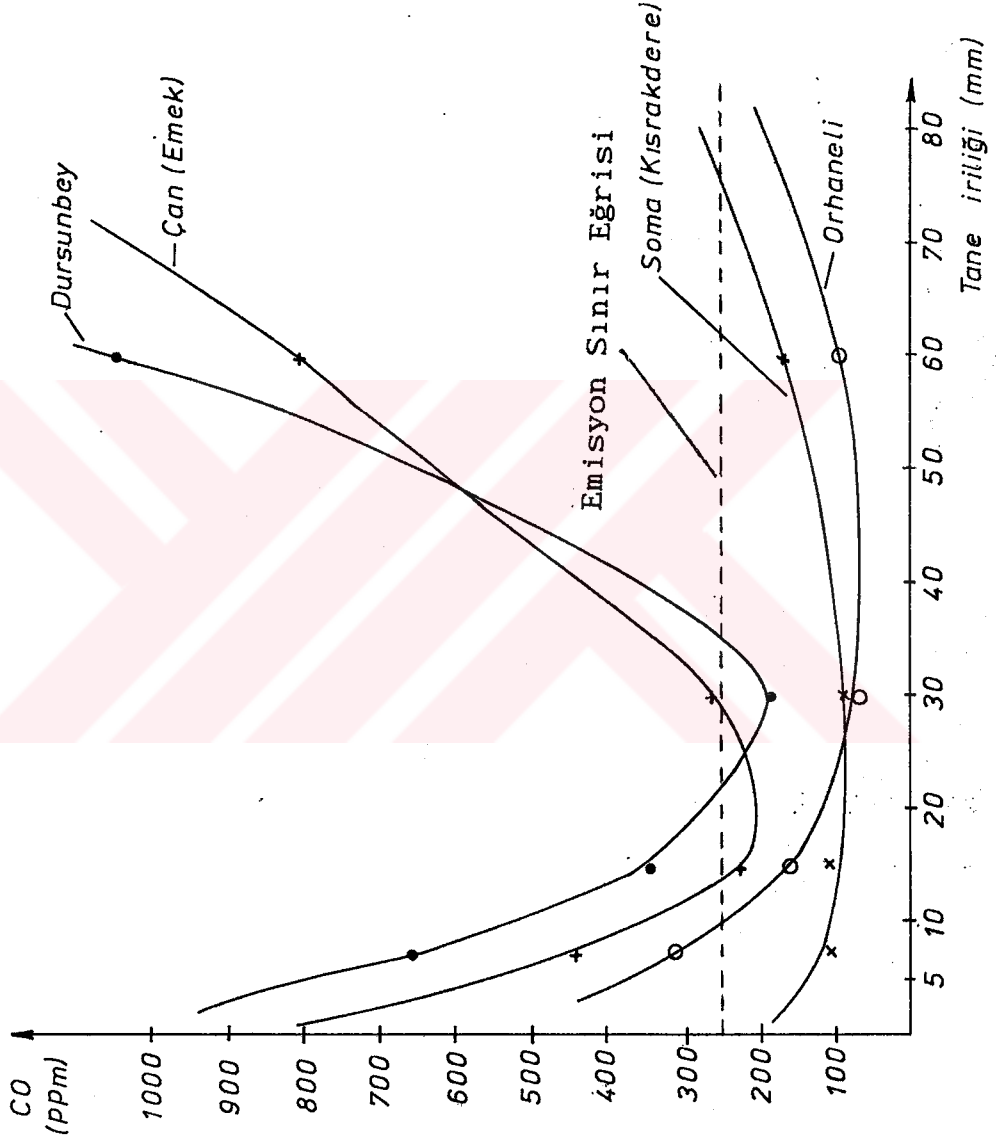
Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği:	380 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 320 mm			Hu : 3860 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	248	4.6	16.1	26	572
Minimum	226	4.4	15.9	20	501
Ortalama	242	4.5	16.0	24	552
Düzeltilmiş	—	—	—	68	1578
İslilik: 7 (Bac)	Kül miktarı: 1.420 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.27. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz)

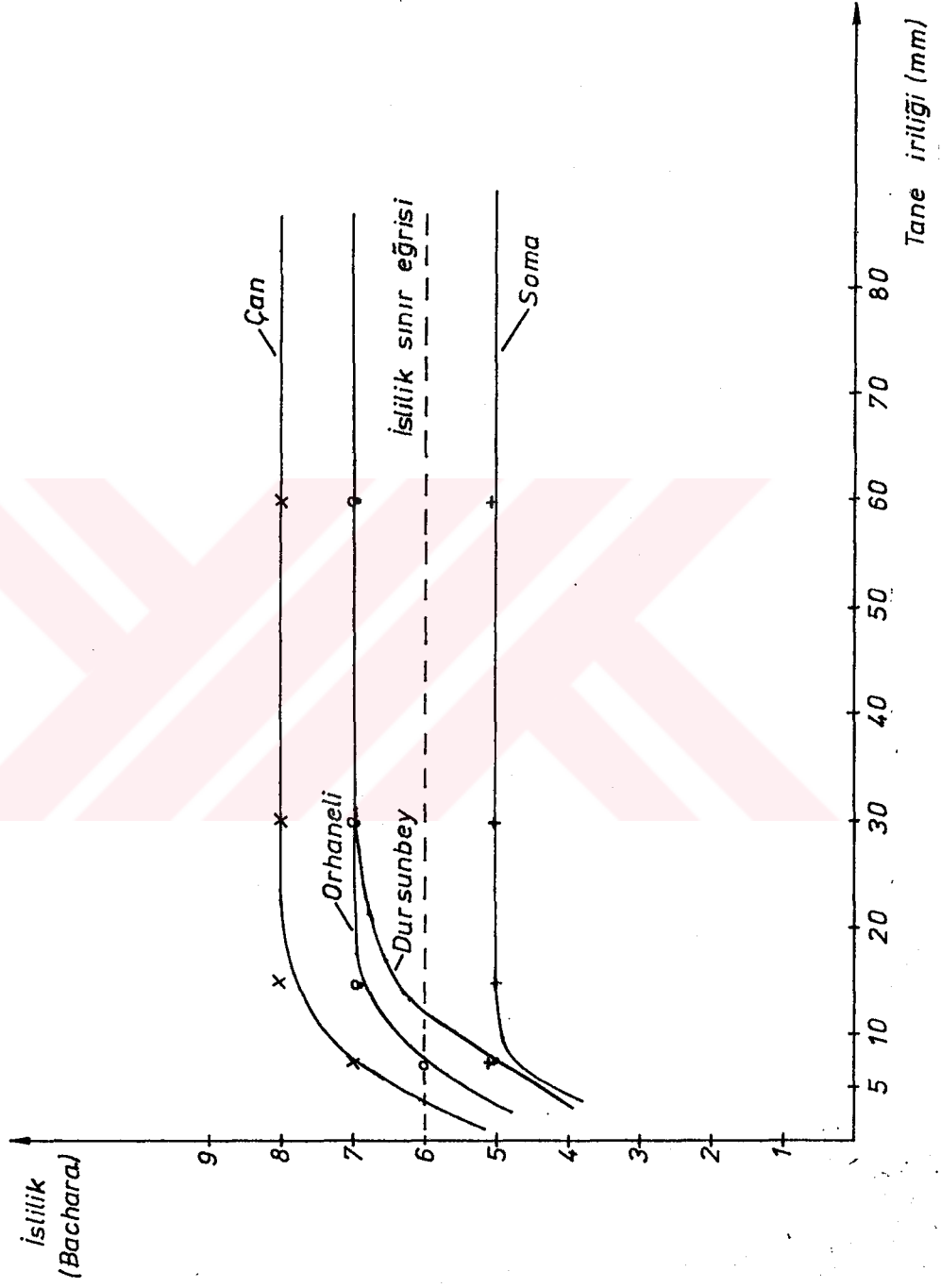
Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 40 - 80 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 11.5 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği:	385 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 315 mm			Hu : 3860 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	254	4.6	16.2	39	623
Minimum	248	4.3	15.9	29	514
Ortalama	250	4.45	16.1	33	598
Düzeltilmiş	—	—	—	90	1644
İslilik: 7 (Bac)	Kül miktarı: 0.750 (kg)		Lamda: —		



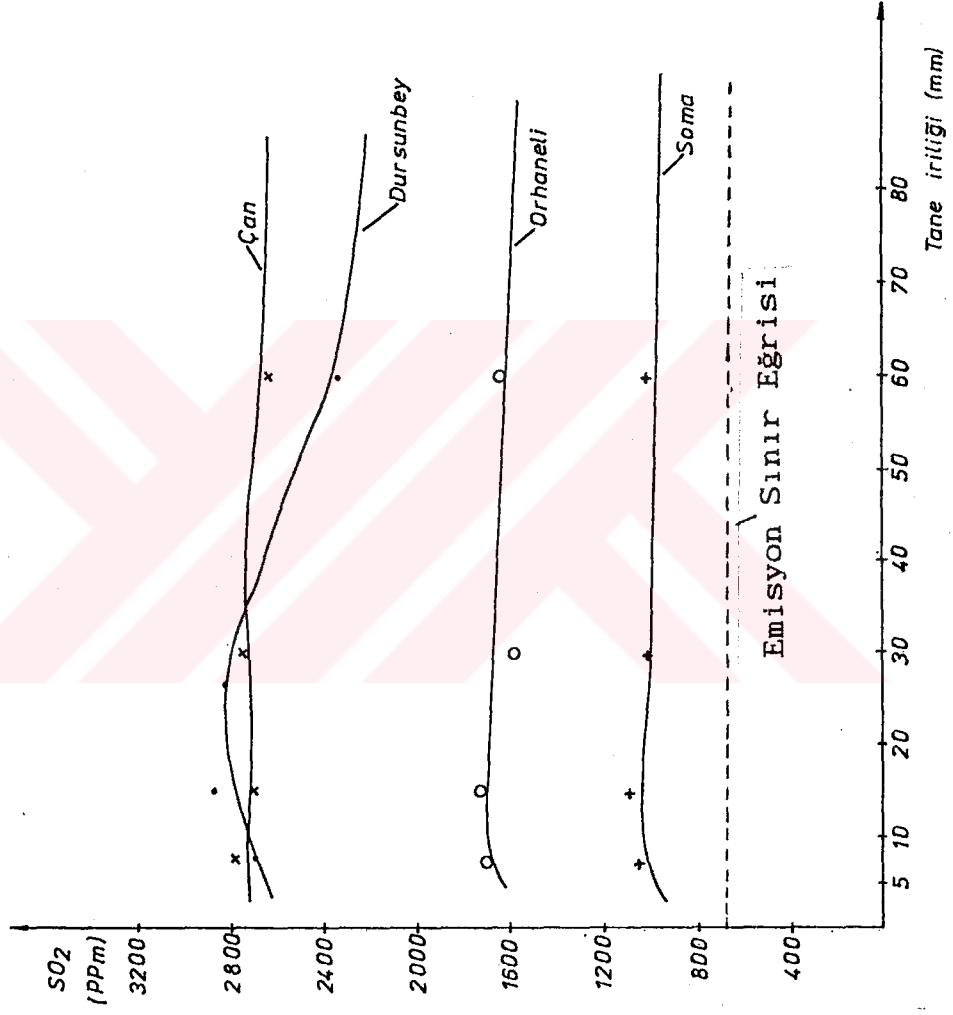
Şekil-3.11. Çizelge-3.24-27'deki sonuçlara göre emisyonların kömür tane iriliği ile değişimi



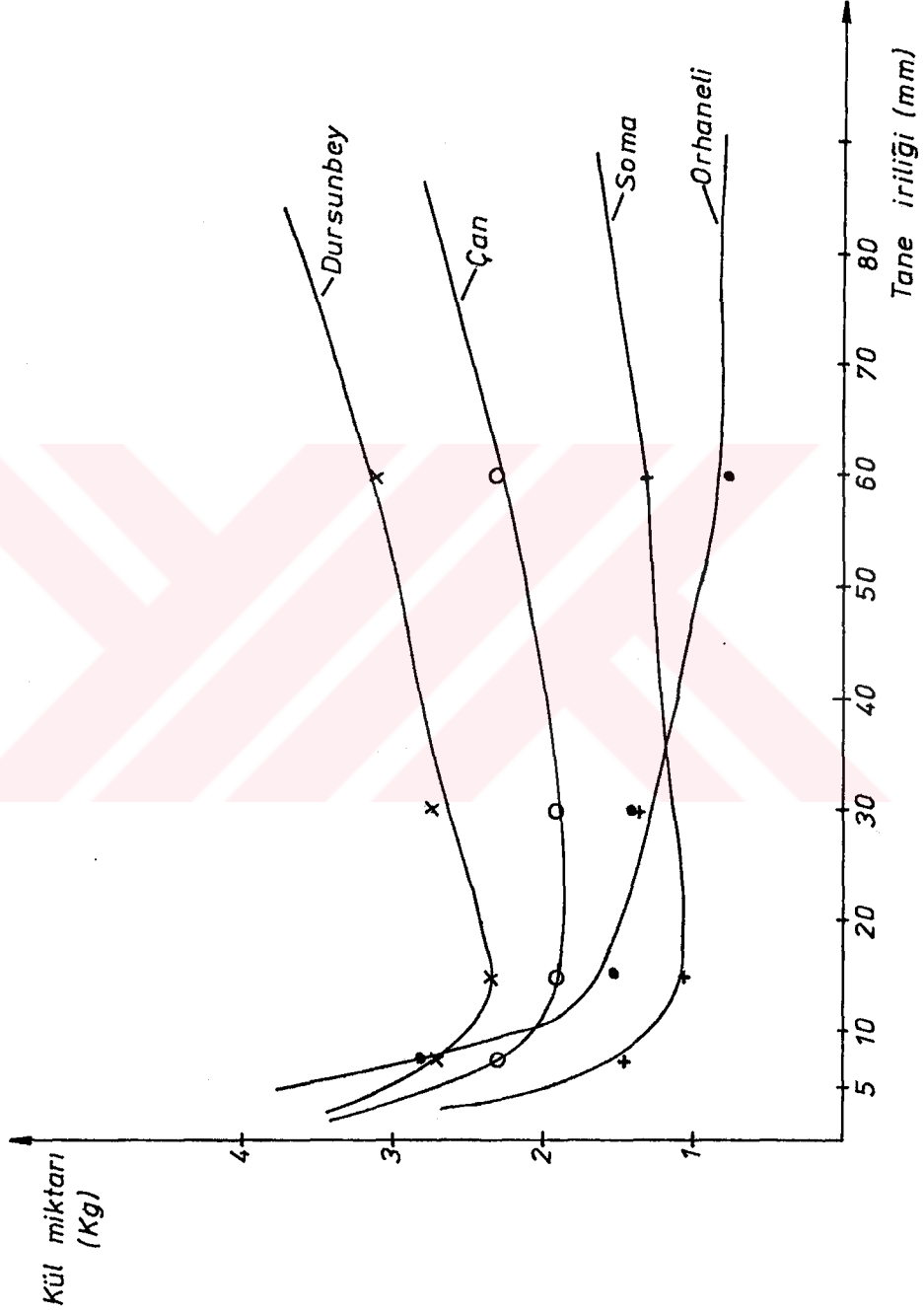
Şekil-3.12. Çizelge-3.12-27'deki sonuçlara göre karbonmonoksitin (CO) kömür tane iriliği ile değişimi



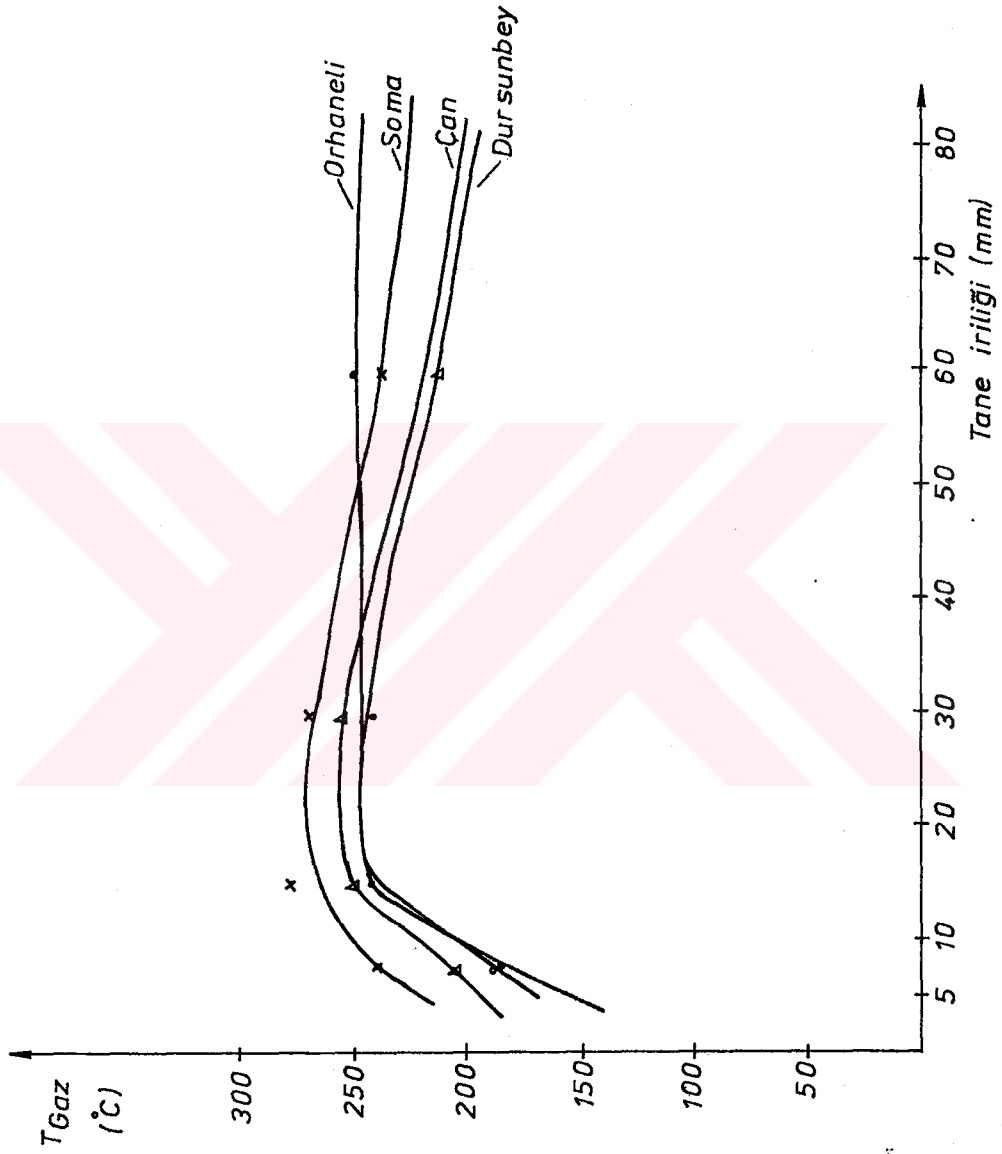
Şekil-3.13: Çizelge-3.12-27'deki sonuçlara göre ıslılığın kömür tane iriliği ile değişimi



Şekil-3.14. Çizelge-3:12-27'deki sonuçlara göre kükürtdioksitin (SO₂) kömür tane iriliği ile değişimi



Şekil-3.15. Çizelge-3.12-27'deki sonuçlara göre ızgara külü miktarının kömür tane iriliği ile değişimi



Şekil-3.16. Çizelge-3.12-27'deki sonuçlara göre duman gazları sıcaklığının kömür tane iriliği ile değişimi

Çizelge-3.28. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Siklon tertibatlı, Px = 0.08 - 0.12 hPa)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm	Nem: % 17.19			
Ağırlığı	: 11.200 kg	Kül: % 14.17			
Doldurma yüksekliği	: 330 mm	S : % 2.00			
Boş yükseklik	: 350 mm	Hu : 4330 kcal/kg			
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	145	4.6	16.4	185	443
Minimum	132	4.2	15.9	113	371
Ortalama	138	4.3	16.27	139	408
Düzeltilmiş	—	—	—	411	1204
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.700 (kg)		Lamda: 1.5		

Çizelge-3.29. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Siklon tertibatlı, Px = 0.08 - 0.12 hPa)

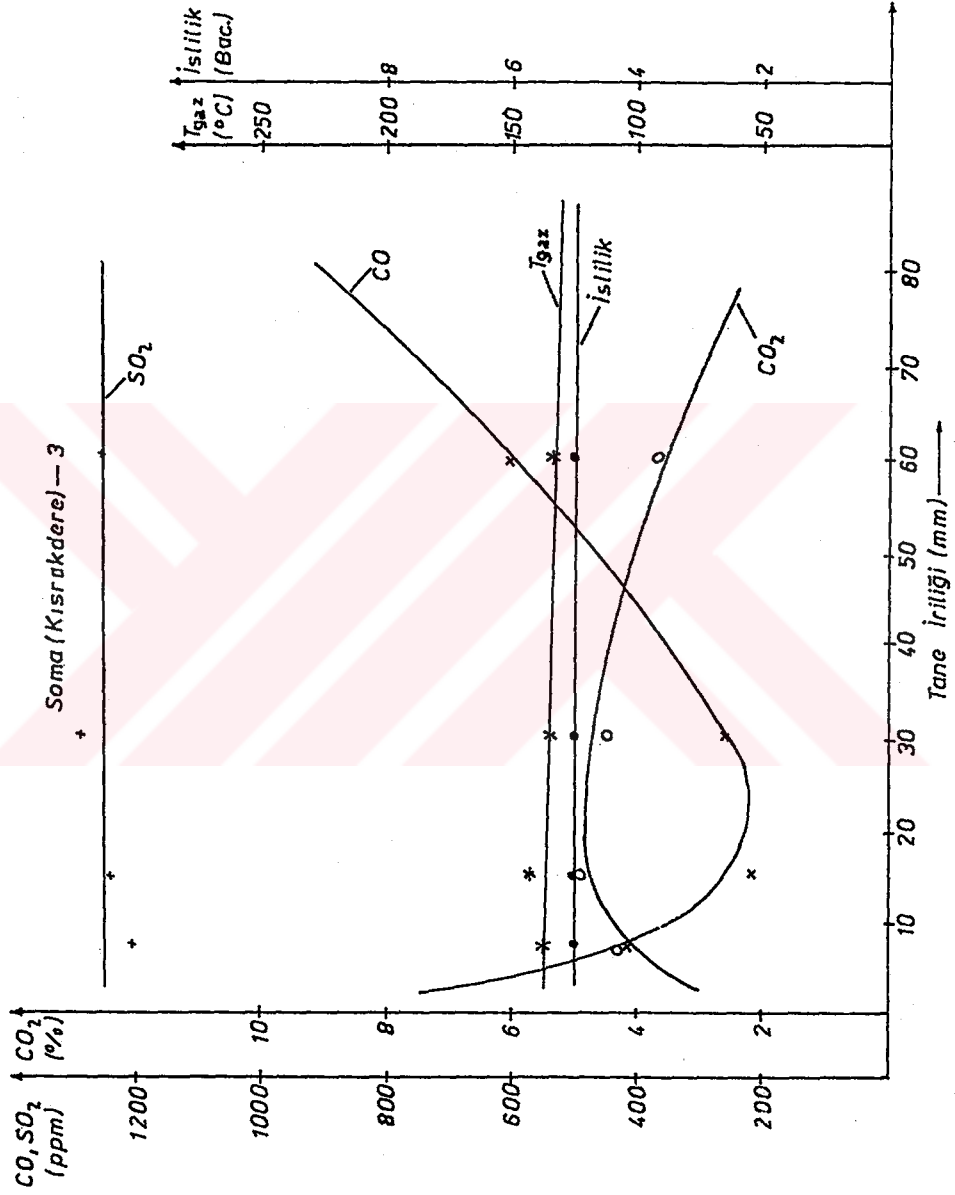
Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm	Nem: % 17.19			
Ağırlığı	: 10.700 kg	Kül: % 14.17			
Doldurma yüksekliği	: 330 mm	S : % 2.00			
Boş yükseklik	: 350 mm	Hu : 4330 kcal/kg			
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	156	5.4	16.6	113	533
Minimum	121	4.0	15.2	42	376
Ortalama	143	4.9	15.62	84	478
Düzeltilmiş	—	—	—	218	1242
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.100 (kg)		Lamda: 1.5		

Çizelge-3.30. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Siklon tertibatlı, Px = 0.09 - 0.14 hPa)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 17.19	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 14.17	
Doldurma yüksekliği	: 330 mm			S : % 2.00	
Boş yükseklik	: 350 mm			Hu : 4330 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	142	4.8	16.4	124	483
Minimum	130	4.2	15.7	54	438
Ortalama	136	4.47	16.05	93	458
Düzeltilmiş	—	—	—	263	1295
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.00 (kg)		Lamda: 1.5		

Çizelge-3.31. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Siklon tertibatlı, Px = 0.10 - 0.14 hPa)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 40 - 80 mm			Nem: % 17.19	
Ağırlığı	: 9.50 kg			Kül: % 14.17	
Doldurma yüksekliği	: 330 mm			S : % 2.00	
Boş yükseklik	: 350 mm			Hu : 4330 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	140	4.0	17.0	272	427
Minimum	119	3.2	16.7	114	246
Ortalama	135	3.7	16.95	174	364
Düzeltilmiş	—	—	—	601	1258
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.200 (kg)		Lamda: 1.5		



Şekil-3.17. Çizelge-3.28-31'deki sonuçlara göre emisyonların kömür tane iriliği ile değişimi

Çizelge-3.32. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Siklon tertibatlı, Px = 0.07 - 0.11 hPa)

Kömürün cinsi: Dursunbey-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm	Nem: % 16.80			
Ağırlığı	: 11.200 kg	Kül: % 7.21			
Doldurma yüksekliği	: 330 mm	S : % 0.72			
Boş yükseklik	: 350 mm	Hu : 4898 kcal/kg			
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	153	4.2	17.3	118	116
Minimum	137	3.3	16.4	66	105
Ortalama	143	3.65	16.95	92	110
Düzeltilmiş	—	—	—	318	380
İslilik: 4 (Bac)	Kül miktarı: 1.00 (kg)		Lamda: 1.5		

Çizelge-3.33. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Siklon tertibatlı, Px = 0.08 - 0.12 hPa)

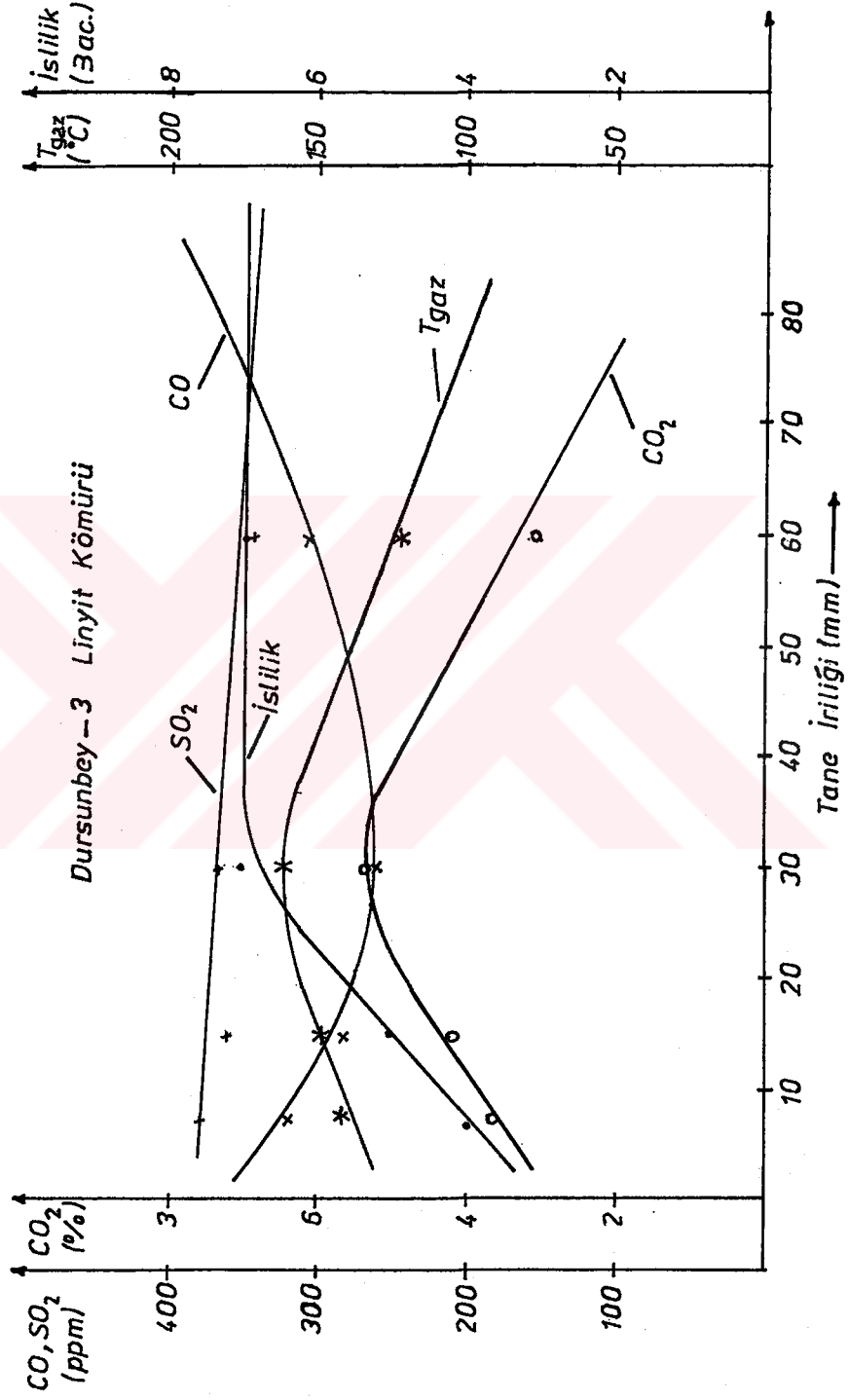
Kömürün cinsi: Dursunbey-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm	Nem: % 16.80			
Ağırlığı	: 10.700 kg	Kül: % 7.21			
Doldurma yüksekliği	: 330 mm	S : % 0.72			
Boş yükseklik	: 350 mm	Hu : 4898 kcal/kg			
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	153	4.3	16.6	113	133
Minimum	143	4.0	16.2	57	67
Ortalama	149	4.15	16.35	93	120
Düzeltilmiş	—	—	—	280	361
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 0.850 (kg)		Lamda: 1.5		

Çizelge-3.34. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Siklon tertibatlı, Px = 0.09 - 0.14 hPa)

Kömürün cinsi: Dursunbey-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 16.80	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 7.21	
Doldurma yüksekliği	: 330 mm			S : % 0.72	
Boş yükseklik	: 350 mm			Hu : 4898 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	178	6.1	16.7	176	177
Minimum	133	3.9	14.3	43	114
Ortalama	161	5.21	15.25	107	150
Düzeltilmiş	—	—	—	260	365
İslilik: 7 (Bac)	Kül miktarı: 0.880 (kg)		Lamda: 1.5		

Çizelge-3.35. Kömürlerin tane irilik değişimine göre yakılması (Siklon tertibatlı, Px = 0.10 - 0.15 hPa)

Kömürün cinsi: Dursunbey-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 40 - 80 mm			Nem: % 16.80	
Ağırlığı	: 9.50 kg			Kül: % 7.21	
Doldurma yüksekliği	: 330 mm			S : % 0.72	
Boş yükseklik	: 350 mm			Hu : 4898 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	127	3.4	18.2	102	97
Minimum	112	2.5	17.2	42	49
Ortalama	122	3.07	17.57	75	83
Düzeltilmiş	—	—	—	306	338
İslilik: 7 (Bac)	Kül miktarı: 0.950 (kg)		Lamda: 1.5		



Şekil-3.18. Çizelge-3.32-35'deki sonuçlara göre emisyonların kömür tane iriliği ile değişimi

3.5.2. Kömür-CaCO₃ Karışımının Yakılması

Türk linyitlerinin kükürt içeriği genelde çok yüksektir (%1-5). Bu da; yanma sonucu oluşan ve zehirli bir gaz olan kükürtdioksitin yüksek oranda olmasına neden olur. Büyük kapasiteli sistemlerde bacaya arıtma düzenleri koyarak kükürtdioksit büyük ölçüde giderilebilir. Fakat; küçük kapasiteli sistemlerde, böyle bir arıtma sistemi kullanmak, maliyetinin yüksekliği nedeniyle mümkün değildir. Bu nedenle, kömür-CaCO₃ karışımının yakılması gibi basit ve maliyeti düşük yöntemlerin kullanılması, küçük kapasiteli yakma sistemleri için daha uygundur.

Bölüm 3.1.3'te analiz sonuçları verilen kömürler, değişik oranlarda CaCO₃ karışımı ile yakıldı. Parametreler ve alınan sonuçlar aşağıda çizelgeler halinde verildi. Yanma sonucu oluşan emisyonların, CaCO₃/S oranı ile değişimleri grafikler çizilerek gösterildi. Deneyler, yakma havasının doğal çekişle sağlandığı ve siklonsuz olduğu duruma göre yapıldı.

Çizelge-3.36. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması (Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =0/3)

Kömürün cinsi: Çan (Emek)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.11	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 13.24	
Doldurma yüksekliği:	320 mm			S : % 2.91	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4806 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO (ppm)	SO ₂ (ppm)
Maksimum	270	5.3	15.4	99	1123
Minimum	248	4.8	14.9	68	632
Ortalama	257	5.01	15.2	83	725
Düzeltilmiş	—	—	—	200	1749
İslilik: 7 (Bac)		Kül miktarı: 1.020 (kg)		Lamda: —	

Çizelge-3.37. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =1/3)

Kömürün cinsi: Çan (Emek)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.11	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 13.24	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 2.91	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4806 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	266	5.2	15.9	124	512
Minimum	238	4.6	15.2	86	488
Ortalama	253	4.82	15.4	102	500
Düzeltilmiş	—	—	—	255	1250
İslilik: 6 (Bac)	Kül miktarı: 1.100 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.38. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =2/3)

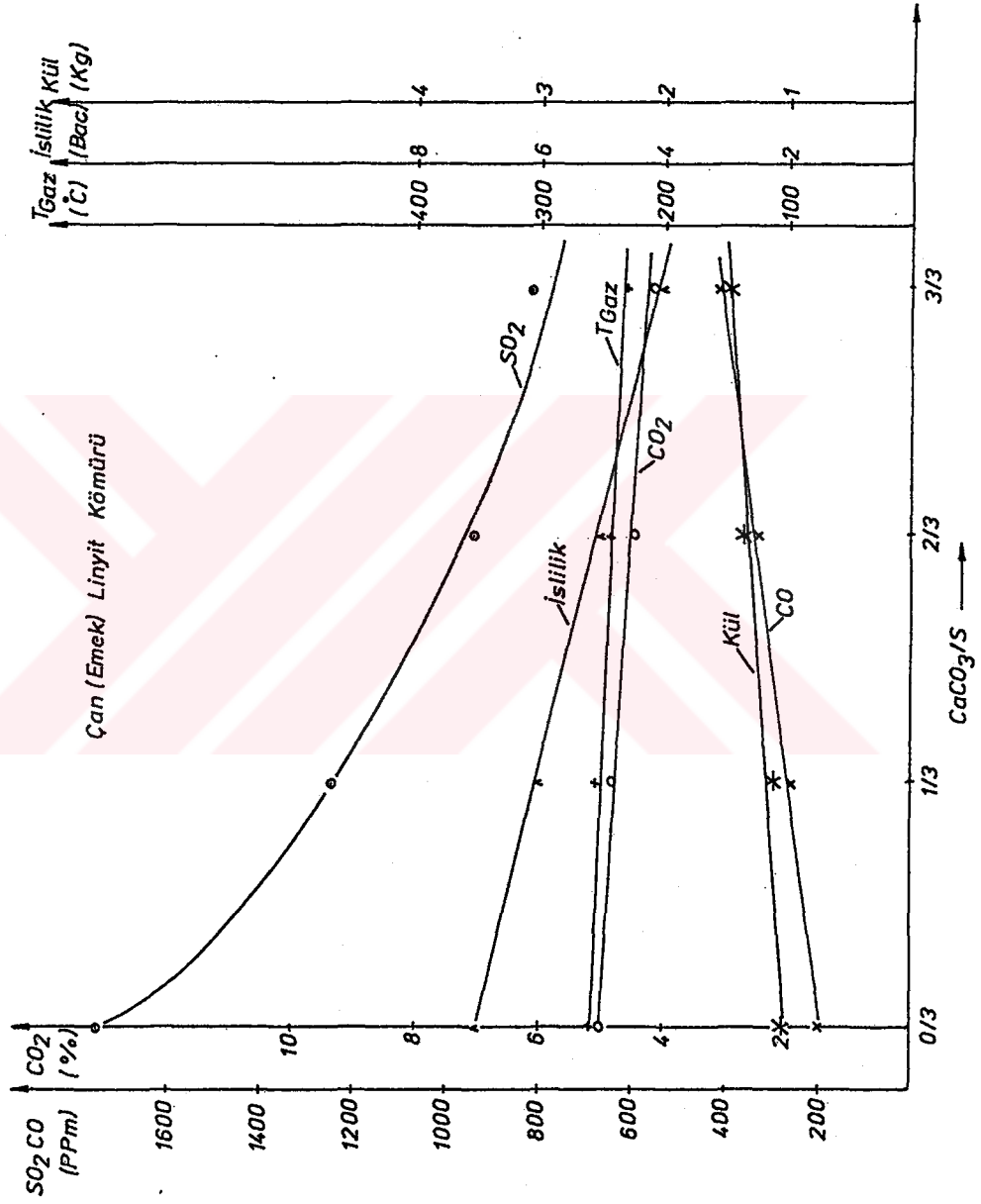
Kömürün cinsi: Çan (Emek)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.11	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 13.24	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 2.91	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4806 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	248	4.7	16.4	137	389
Minimum	234	4.2	15.8	108	304
Ortalama	243	4.48	16.04	116	331
Düzeltilmiş	—	—	—	327	934
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.350 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.39. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =3/3)

Kömürün cinsi: Çan (Emek)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.11	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 13.24	
Doldurma yüksekliği:	320 mm			S : % 2.91	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4806 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	239	4.3	16.9	151	352
Minimum	227	3.9	16.2	123	224
Ortalama	231	4.15	16.45	132	273
Düzeltilmiş	—	—	—	406	840
İslilik: 4 (Bac)	Kül miktarı: 1.500 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.40. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =0/3)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.97	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 10.00	
Doldurma yüksekliği:	320 mm			S : % 1.058	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 5050 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	293	6.4	15.6	54	587
Minimum	272	4.9	13.9	40	470
Ortalama	285	5.78	14.6	48	529
Düzeltilmiş	—	—	—	105	1159
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 0.850 (kg)		Lamda: —		



Şekil-3.19. Çizelge-3.36-39'daki sonuçlara göre emisyonların CaCO₃/S oranı ile değişimi

Çizelge-3.41. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =1/3)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.97	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 10.00	
Doldurma yüksekliği:	320 mm			S : % 1.058	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 5050 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	276	6.0	15.2	62	426
Minimum	262	4.7	14.7	48	370
Ortalama	268	5.53	14.9	55	403
Düzeltilmiş	—	—	—	126	924
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 0.970 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.42. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =2/3)

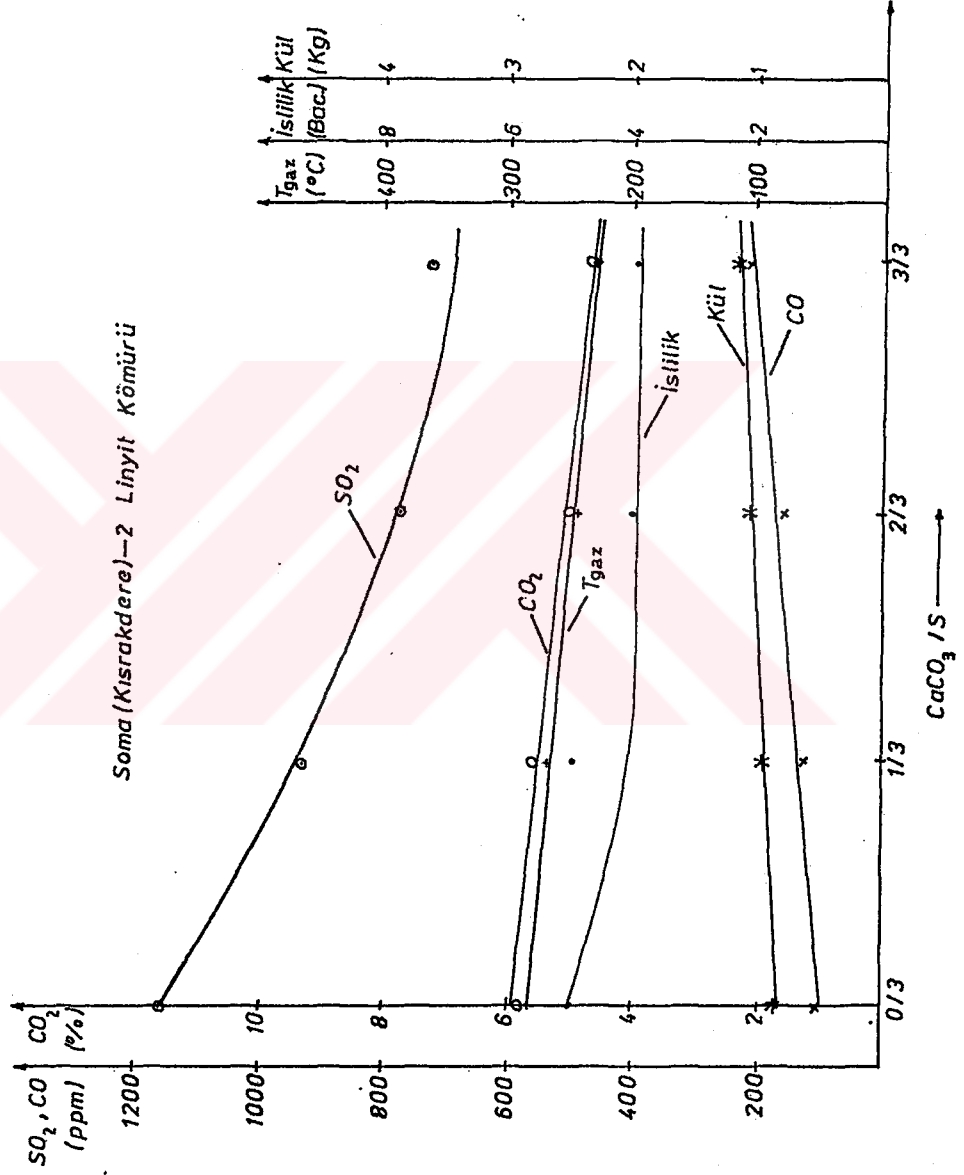
Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.97	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 10.00	
Doldurma yüksekliği:	320 mm			S : % 1.058	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 5050 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	259	5.4	15.8	73	334
Minimum	237	4.6	15.2	59	289
Ortalama	249	5.01	15.45	66	307
Düzeltilmiş	—	—	—	166	774
İslilik: 4 (Bac)	Kül miktarı: 1.080 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.43. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =3/3)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.97	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 10.00	
Doldurma yüksekliği:	320 mm			S : % 1.058	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 5050 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	246	5.1	16.3	86	296
Minimum	223	4.4	15.6	67	242
Ortalama	234	4.72	15.93	79	263
Düzeltilmiş	—	—	—	218	726
İslilik: 4 (Bac)	Kül miktarı: 1.200 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.44. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =0/3)

Kömürün cinsi: Dursunbey-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 14.77	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 27.92	
Doldurma yüksekliği:	320 mm			S : % 1.70	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4035 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	290	5.4	15.9	140	632
Minimum	254	5.0	15.0	125	524
Ortalama	269	5.18	15.3	132	557
Düzeltilmiş	—	—	—	324	1369
İslilik: 7 (Bac)	Kül miktarı: 2.070 (kg)		Lamda: —		



Şekil-3.20. Çizelge-3.40-43'deki sonuçlara göre emisyonların CaCO₃/S oranı ile değişimi

Çizelge-3.45. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =1/3)

Kömürün cinsi: Dursunbey-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 14.77	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 27.92	
Doldurma yüksekliği:	320 mm			S : % 1.70	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4035 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	282	5.3	15.9	152	443
Minimum	249	4.8	15.1	134	214
Ortalama	263	5.1	15.4	141	321
Düzeltilmiş	—	—	—	352	803
İslilik: 6 (Bac)	Kül miktarı: 2.200 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.46. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =2/3)

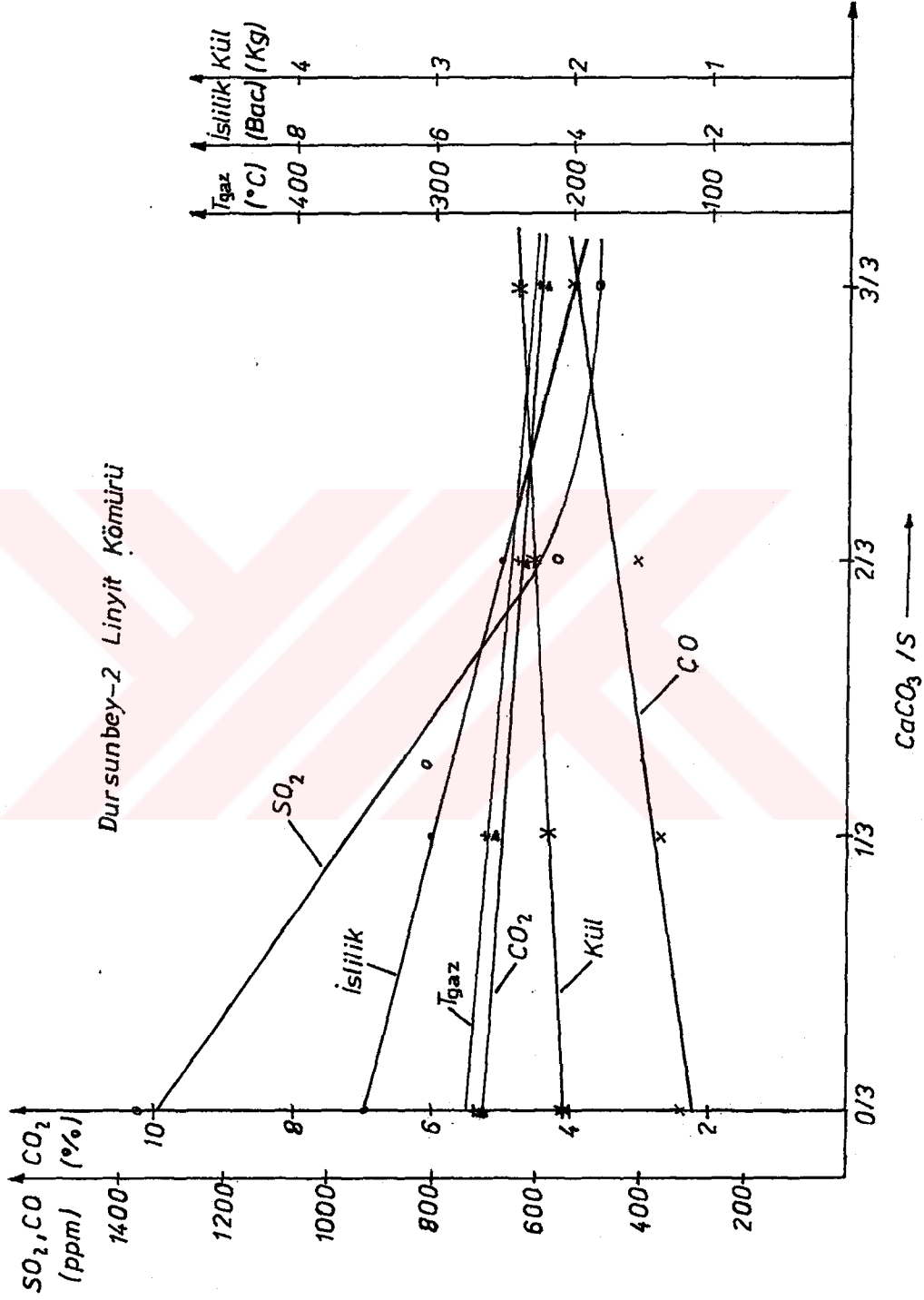
Kömürün cinsi: Dursunbey-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 14.77	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 27.92	
Doldurma yüksekliği:	320 mm			S : % 1.70	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4035 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	270	5.2	15.9	164	248
Minimum	239	4.6	15.3	147	164
Ortalama	246	4.9	15.6	153	212
Düzeltilmiş	—	—	—	396	549
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 2.300 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.47. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =3/3)

Kömürün cinsi: Dursunbey-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 14.77	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 27.92	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 1.70	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4035 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	247	4.6	17.8	178	204
Minimum	182	4.0	15.9	159	131
Ortalama	222	4.3	16.65	166	152
Düzeltilmiş	—	—	—	534	489
İslilik: 4 (Bac)	Kül miktarı: 2.400 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.48. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =0/3)

Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 3860 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	255	4.6	16.6	62	744
Minimum	234	4.0	15.9	31	538
Ortalama	246	4.36	16.18	54	594
Düzeltilmiş	—	—	—	157	1726
İslilik: 7 (Bac)	Kül miktarı: 1.370 (kg)		Lamda: —		



Şekil-3.21. Çizelge-3.44-47'deki sonuçlara göre emisyonların CaCO₃/S oranı ile değişimi

Çizelge-3.49. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =1/3)

Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 3860 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	251	4.7	17.1	71	420
Minimum	232	3.5	15.8	47	300
Ortalama	242	4.2	16.33	62	360
Düzeltilmiş	—	—	—	185	1079
İslilik: 6 (Bac)	Kül miktarı: 1.530 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.50. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =2/3)

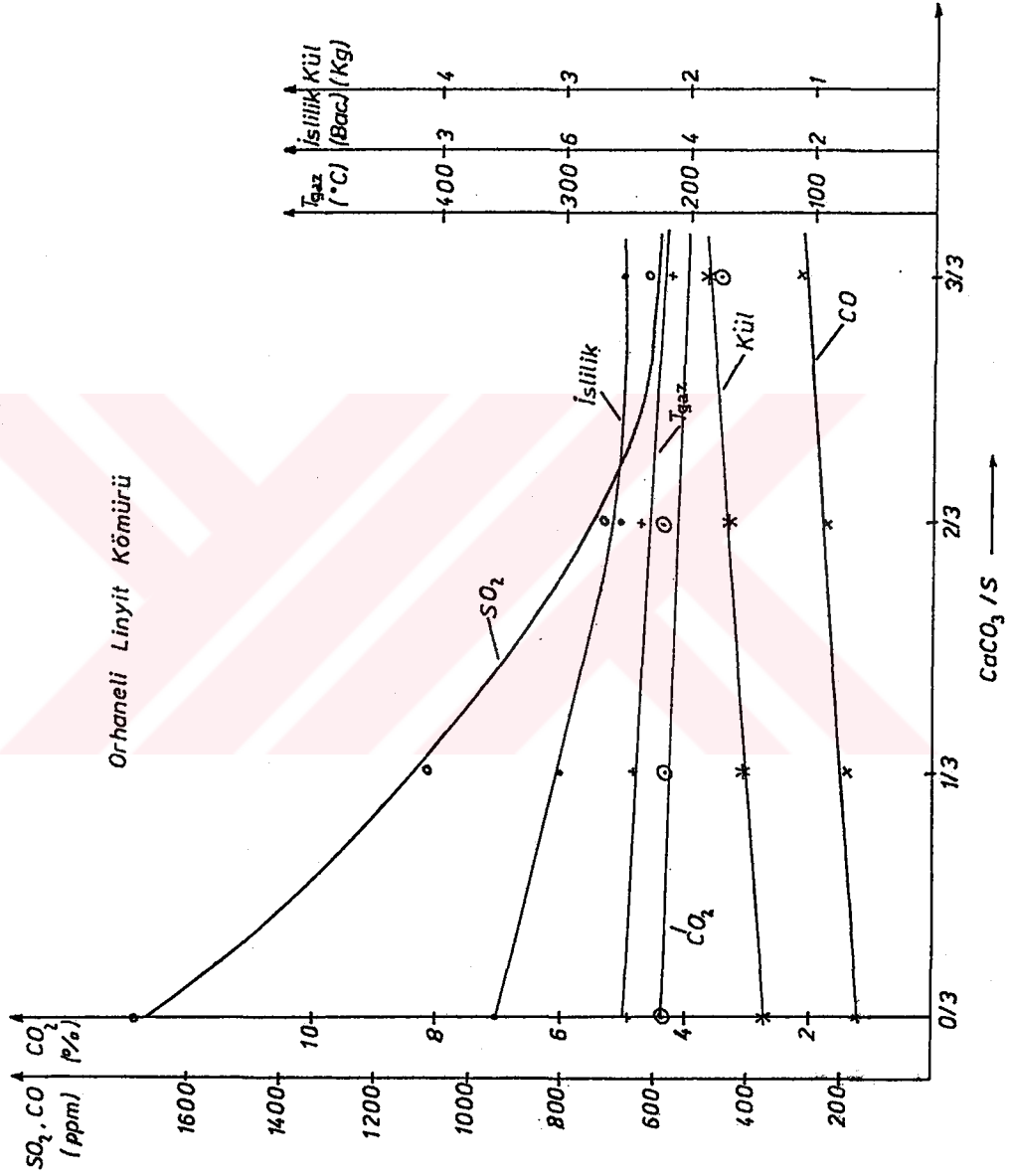
Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 3860 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	249	4.7	16.9	83	240
Minimum	231	4.1	15.8	56	190
Ortalama	239	4.38	16.52	73	215
Düzeltilmiş	—	—	—	228	671
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.620 (kg)		Lamda: —		

Çizelge-3.51. Kömürlerin CaCO₃ karışımı ile yakılması
(Doğal çekişli, siklonsuz, CaCO₃/S =3/3)

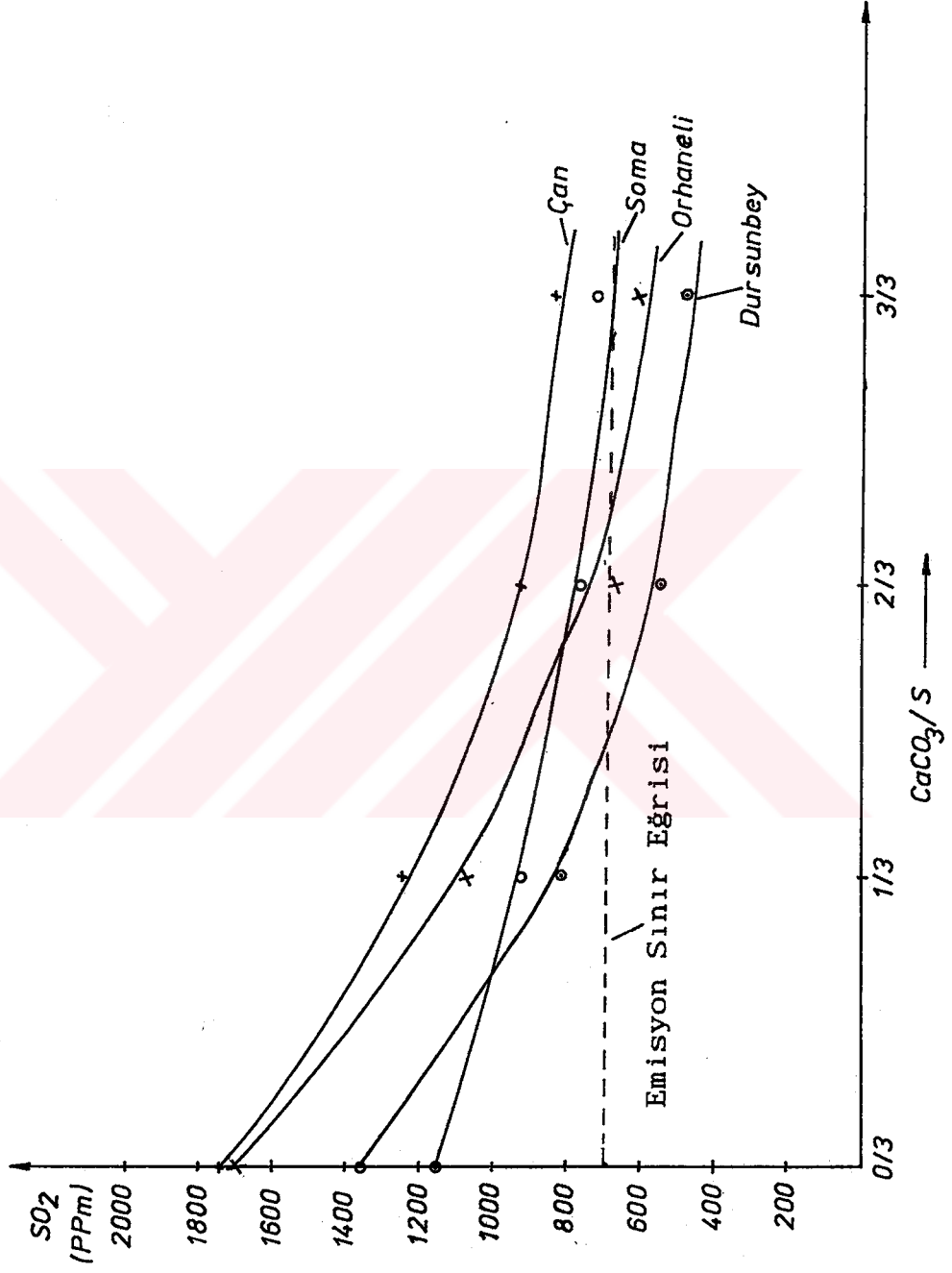
Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği:	320 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 3860 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	221	3.7	17.3	96	204
Minimum	204	3.3	16.9	72	142
Ortalama	212	3.44	17.07	80	173
Düzeltilmiş	—	—	—	285	616
İslilik: (Bac)		Kül miktarı: (kg)		Lamda: —	

3.5.3. Kömürlerin Değişen Yakma Havaasına Göre Yakılması

Kömürlerin; yakma sistemlerinde, daha düzenli yanması koşullarını belirleyebilmek için değişik oranlarda yakma havası yanma bölgesine gönderildi. Yakma sırasında oluşan emisyonların değişimi, yakma havasına bağlı olarak grafiklerle gösterildi. Deneylelerin ilk kısmı siklonsuz, ikinci kısmı siklon tertibatlı yapıldı.



Şekil-3.22. Çizelge-3.48-51'deki sonuçlara göre emisyonların CaCO₃/S oranı ile değişimi



Şekil-3.23. Çizelge-3.36-51'deki sonuçlara göre kükürtdioksitin (SO₂) CaCO₃/S ile değişimi

Çizelge-3.52. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

Kömürün cinsi: Çan (Emek)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.11	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 13.24	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 2.91	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4806 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	S02 (ppm)
Maksimum		5.5	16.0	198	778
Minimum		4.5	14.9	98	933
Ortalama		5.01	15.4	165	841
Düzeltilmiş	—	12.52	—	415	2104
Islilik: 8 (Bac)	Kül miktarı: 1.300 (kg)		Lamda: 1.4		

Çizelge-3.53. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

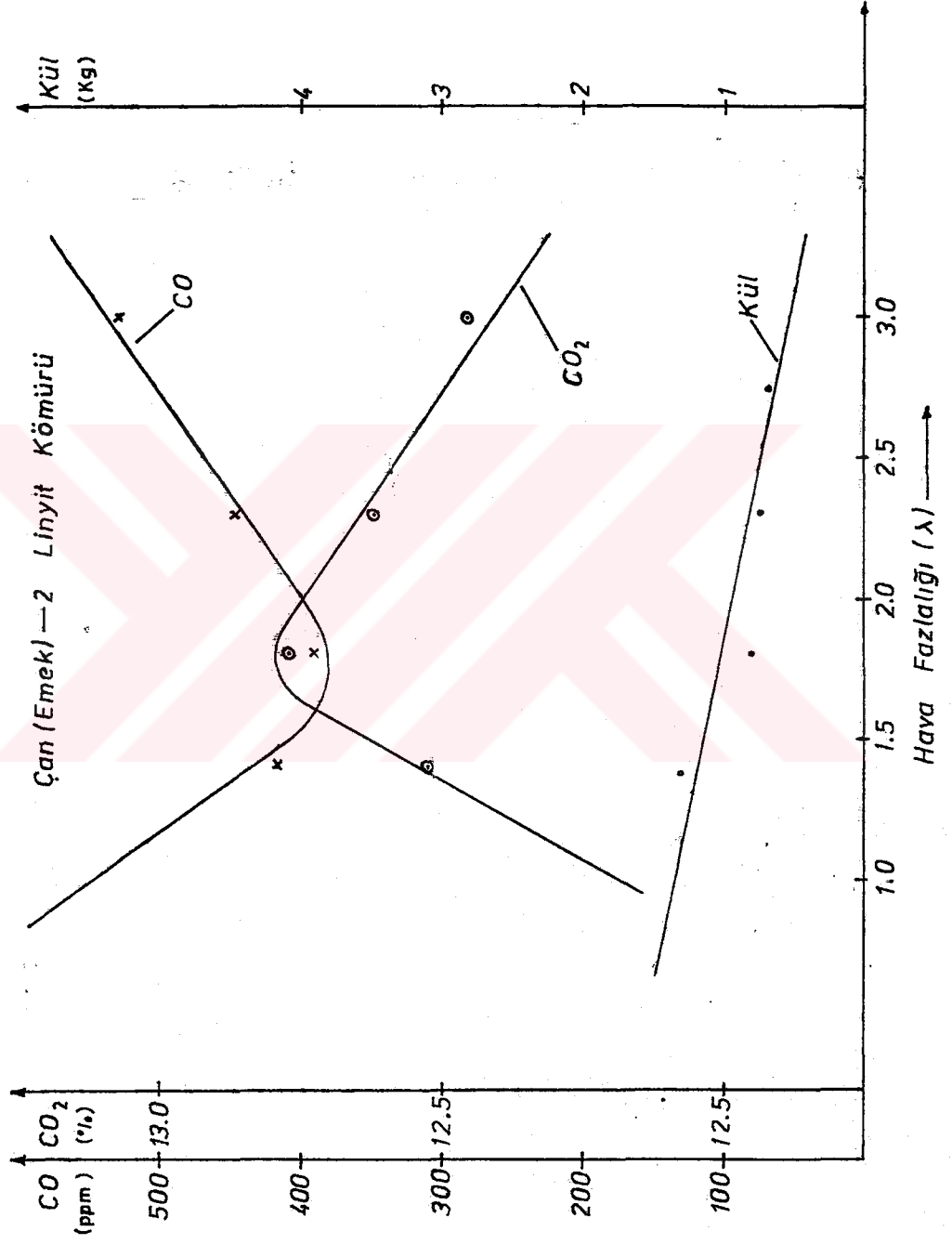
Kömürün cinsi: Çan (Emek)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.11	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 13.24	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 2.91	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4806 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	S02 (ppm)
Maksimum		7.5	14.1	261	1127
Minimum		6.3	13.0	190	1056
Ortalama		6.9	13.44	211	1114
Düzeltilmiş	—	12.77	—	392	2063
Islilik: 6 (Bac)	Kül miktarı: 0.800 (kg)		Lamda: 1.80		

Çizelge-3.54. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

Kömürün cinsi: Çan (Emek)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.11	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 13.24	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 2.91	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4806 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		7.8	13.7	282	1186
Minimum		6.4	12.9	227	1063
Ortalama		6.95	13.29	246	1137
Düzeltilmiş	—	12.62	—	447	2065
İslilik: 6 (Bac)		Kül miktarı: 0.760 (kg)		Lamda: 2.30	

Çizelge-3.55. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

Kömürün cinsi: Çan (Emek)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.11	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 13.24	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 2.91	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4806 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		8.2	13.5	343	1218
Minimum		6.4	12.6	256	1150
Ortalama		7.07	13.05	300	1192
Düzeltilmiş	—	12.45	—	528	2100
İslilik: 6 (Bac)		Kül miktarı: 0.700 (kg)		Lamda: 3.00	



Şekil-3.24. Çizelge-3.52-55'deki sonuçlara göre emisyonların hava fazlalığı ile değişimi

Çizelge-3.56. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.97	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 10.00	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 1.058	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 5050 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		7.1	14.6	162	542
Minimum		6.0	13.7	74	421
Ortalama		6.5	13.95	125	468
Düzeltilmiş	—	12.92	—	248	930
İslilik: 5 (Bac)		Kül miktarı: .900 (kg)		Lamda: 1.44	

Çizelge-3.57. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.97	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 10.00	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 1.058	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 5050 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		7.2	14.2	154	550
Minimum		6.4	13.1	56	456
Ortalama		7.01	13.45	105	530
Düzeltilmiş	—	13.01	—	195	983
İslilik: 4 (Bac)		Kül miktarı: 0.800 (kg)		Lamda: 1.70	

Çizelge-3.58. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.97	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 10.00	
Doldurma yüksekliği:	320 mm			S : % 1.058	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 5050 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		7.5	13.7	152	546
Minimum		7.1	12.8	113	474
Ortalama		7.35	13.04	125	502
Düzeltilmiş	—	12.93	—	220	884
İslilik: 4 (Bac)		Kül miktarı: 0.700 (kg)		Lamda: 2.00	

Çizelge-3.59. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

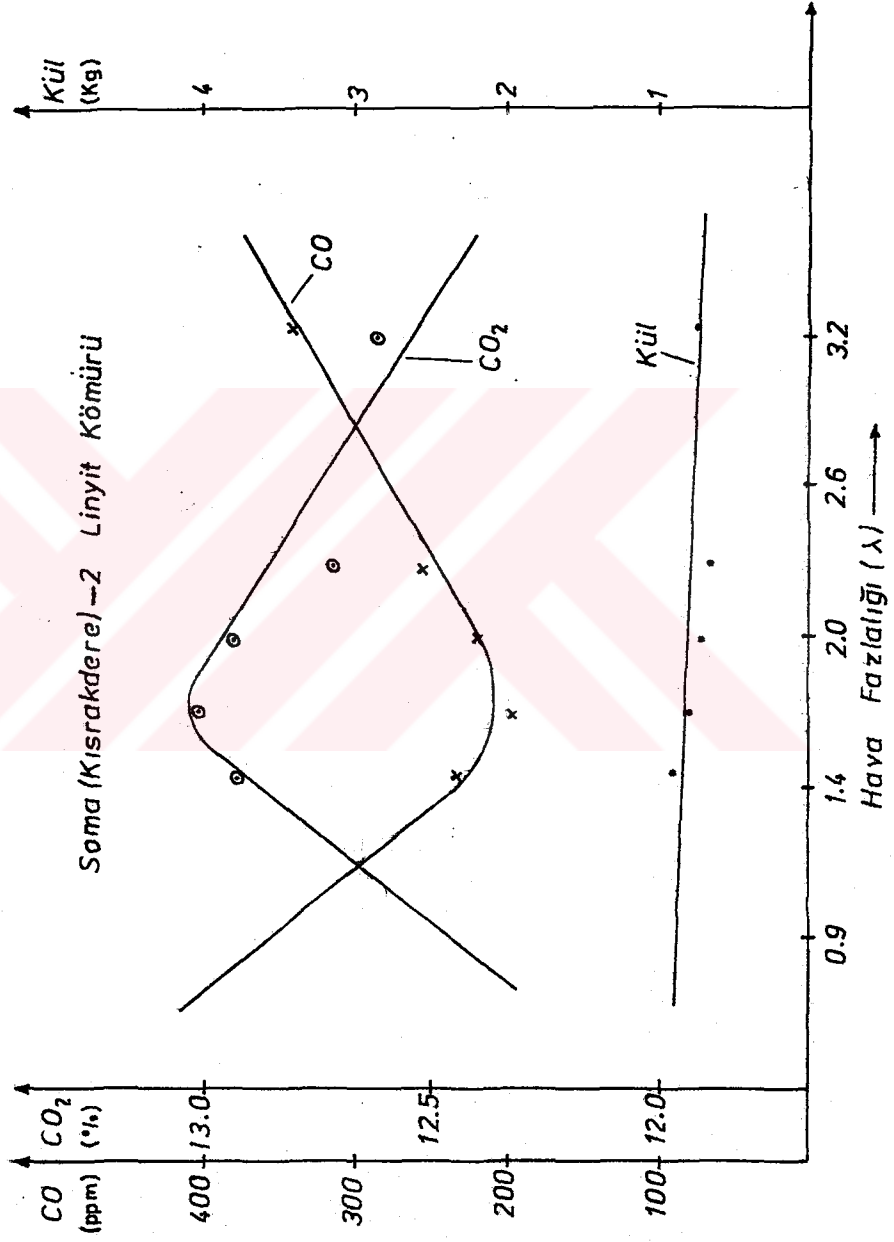
Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.97	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 10.00	
Doldurma yüksekliği:	320 mm			S : % 1.058	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 5050 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		8.0	13.2	205	797
Minimum		7.0	12.2	140	508
Ortalama		7.59	12.63	152	575
Düzeltilmiş	—	12.71	—	255	963
İslilik: 4 (Bac)		Kül miktarı: 0.650 (kg)		Lamda: 2.30	

Çizelge-3.60. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 15.97	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 10.00	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 1.058	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 5050 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		10.1	11.5	270	817
Minimum		9.1	9.7	238	632
Ortalama		9.37	10.6	254	726
Düzeltilmiş	—	12.62	—	341	978
İslilik: 4 (Bac)		Kül miktarı: 0.750 (kg)		Lamda: 3.20	

Çizelge-3.61. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

Kömürün cinsi: Dursunbey-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 14.77	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 27.92	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 1.70	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4035 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		4.8	15.9	257	508
Minimum		4.2	15.1	189	386
Ortalama		4.6	15.64	230	424
Düzeltilmiş	—	12.01	—	603	1108
İslilik: 7 (Bac)		Kül miktarı: 2.050 (kg)		Lamda: 1.35	



Şekil-3.25. Çizelge-3.56-60'daki sonuçlara göre emisyonların hava fazlalığı ile değişimi

Çizelge-3.62. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

Kömürün cinsi: Dursunbey-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 14.77	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 27.92	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 1.70	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4035 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		5.9	15.4	286	612
Minimum		5.2	14.2	244	484
Ortalama		5.48	14.94	250	524
Düzeltilmiş	—	12.66	—	577	1212
İslilik: 6 (Bac)		Kül miktarı: 1.900 (kg)		Lamda: 1.70	

Çizelge-3.63. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

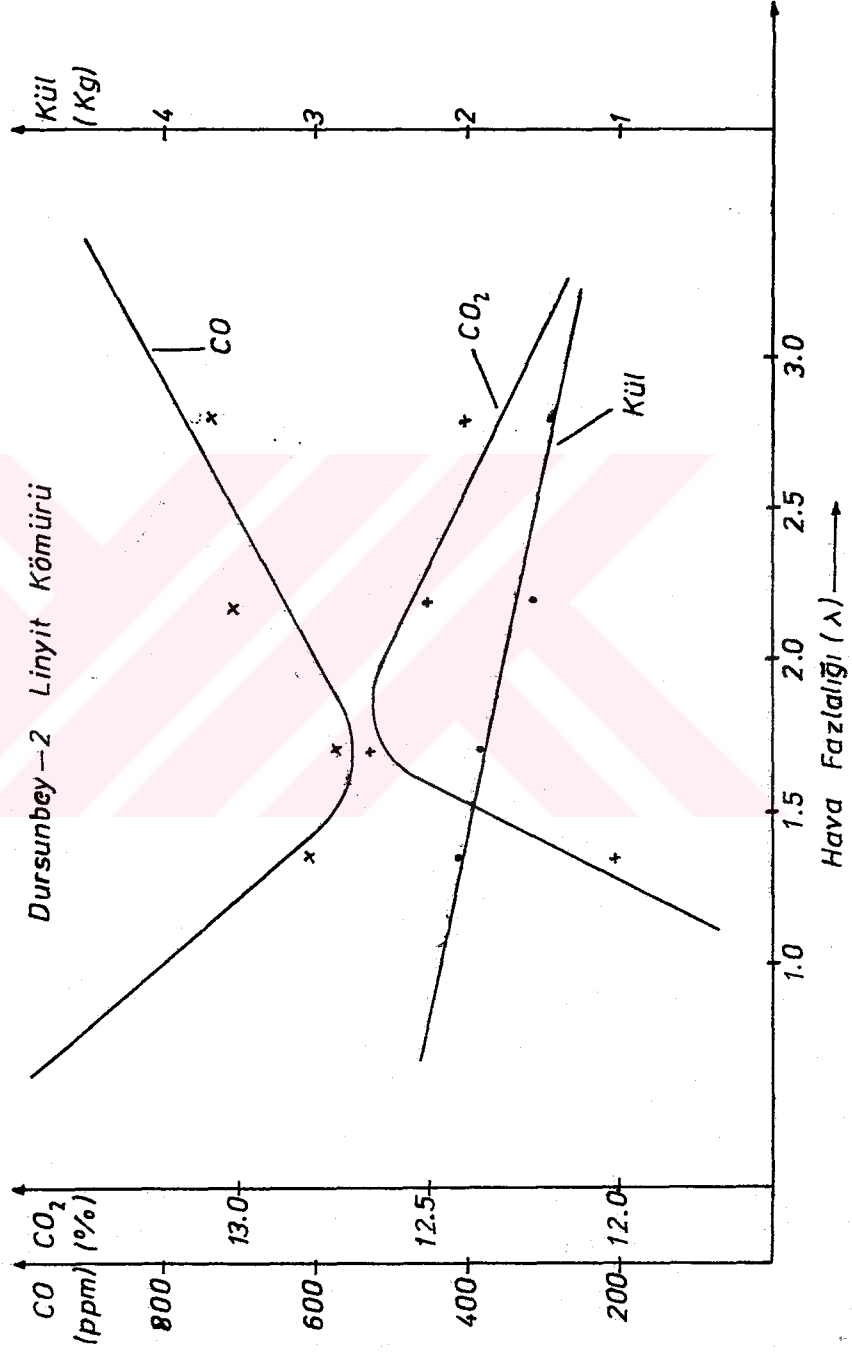
Kömürün cinsi: Dursunbey-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 14.77	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 27.92	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 1.70	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4035 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		6.2	15.2	364	627
Minimum		5.5	14.0	293	493
Ortalama		5.87	14.43	332	556
Düzeltilmiş	—	12.50	—	708	1186
İslilik: 6 (Bac)		Kül miktarı: 1.830 (kg)		Lamda: 2.20	

Çizelge-3.64. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

Kömürün cinsi: Dursunbey-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 14.77	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 27.92	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 1.70	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 4035 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		7.0	14.8	400	680
Minimum		5.5	13.1	352	516
Ortalama		6.36	13.82	378	584
Düzeltilmiş	—	12.41	—	737	1140
Islilik: 6 (Bac)		Kül miktarı: 1.700 (kg)		Lamda: 2.80	

Çizelge-3.65. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 3860 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		5.9	16.1	345	813
Minimum		5.2	14.6	257	621
Ortalama		5.4	15.1	298	709
Düzeltilmiş	—	12.80	—	706	1683
Islilik: 6 (Bac)		Kül miktarı: 1.220 (kg)		Lamda: 1.35	



Şekil-3.26 Çizelge-3.61-64'deki sonuçlara göre emisyonların hava fazlalığı ile değişimi

Çizelge-3.66. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 3860 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		6.8	14.4	410	867
Minimum		6.0	13.6	245	694
Ortalama	-	6.55	14.05	342	757
Düzeltilmiş	—	13.19	—	689	1526
İslilik: 5 (Bac)		Kül miktarı: 1.00 (kg)		Lamda: 1.70	

Çizelge-3.67. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

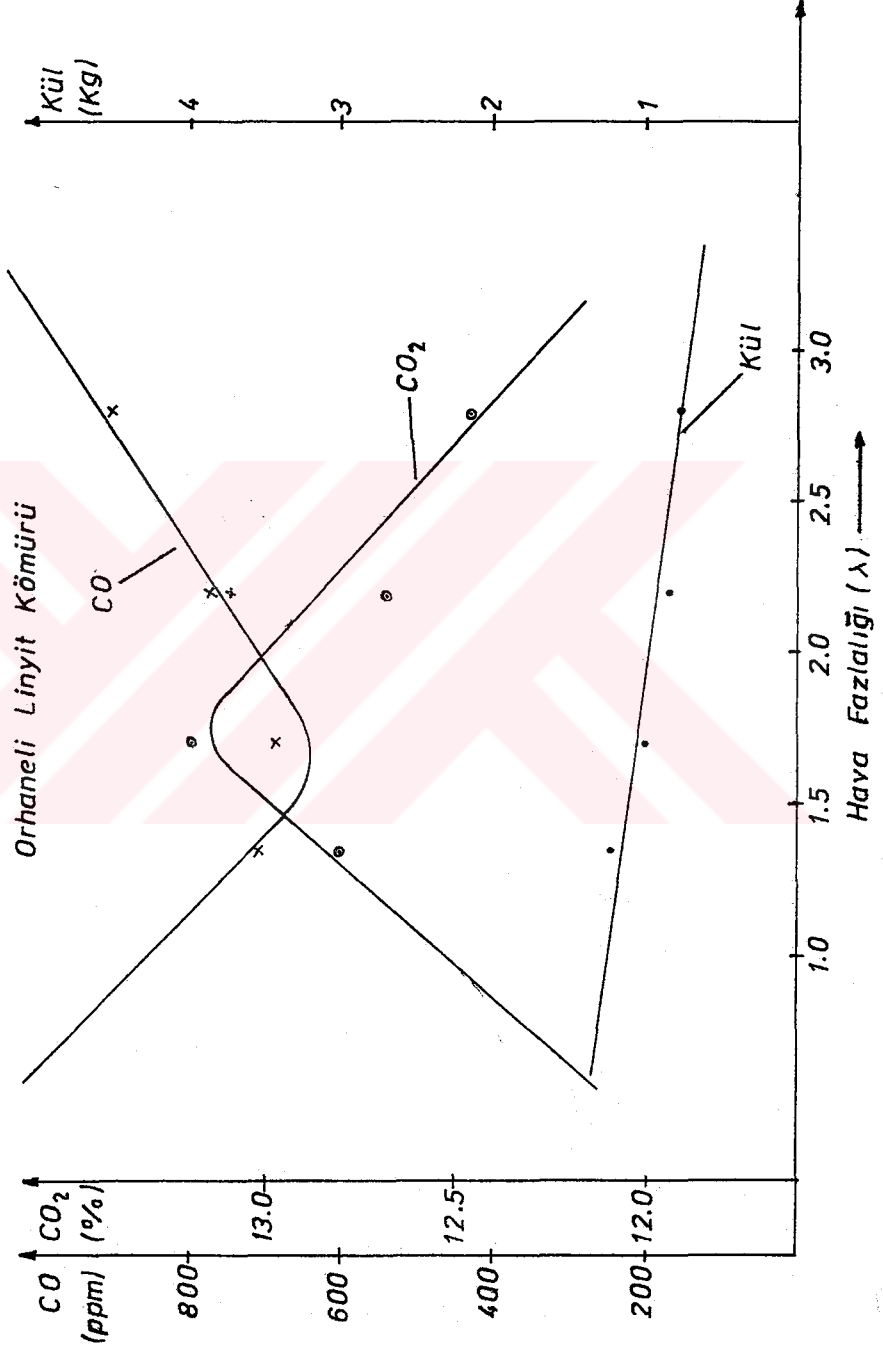
Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 3860 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		8.7	12.7	637	1108
Minimum		7.5	11.5	352	976
Ortalama		8.13	12.03	483	1055
Düzeltilmiş	—	12.68	—	770	1647
İslilik: 5 (Bac)		Kül miktarı: 0.850 (kg)		Lamda: 2.20	

Çizelge-3.68. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklonsuz)

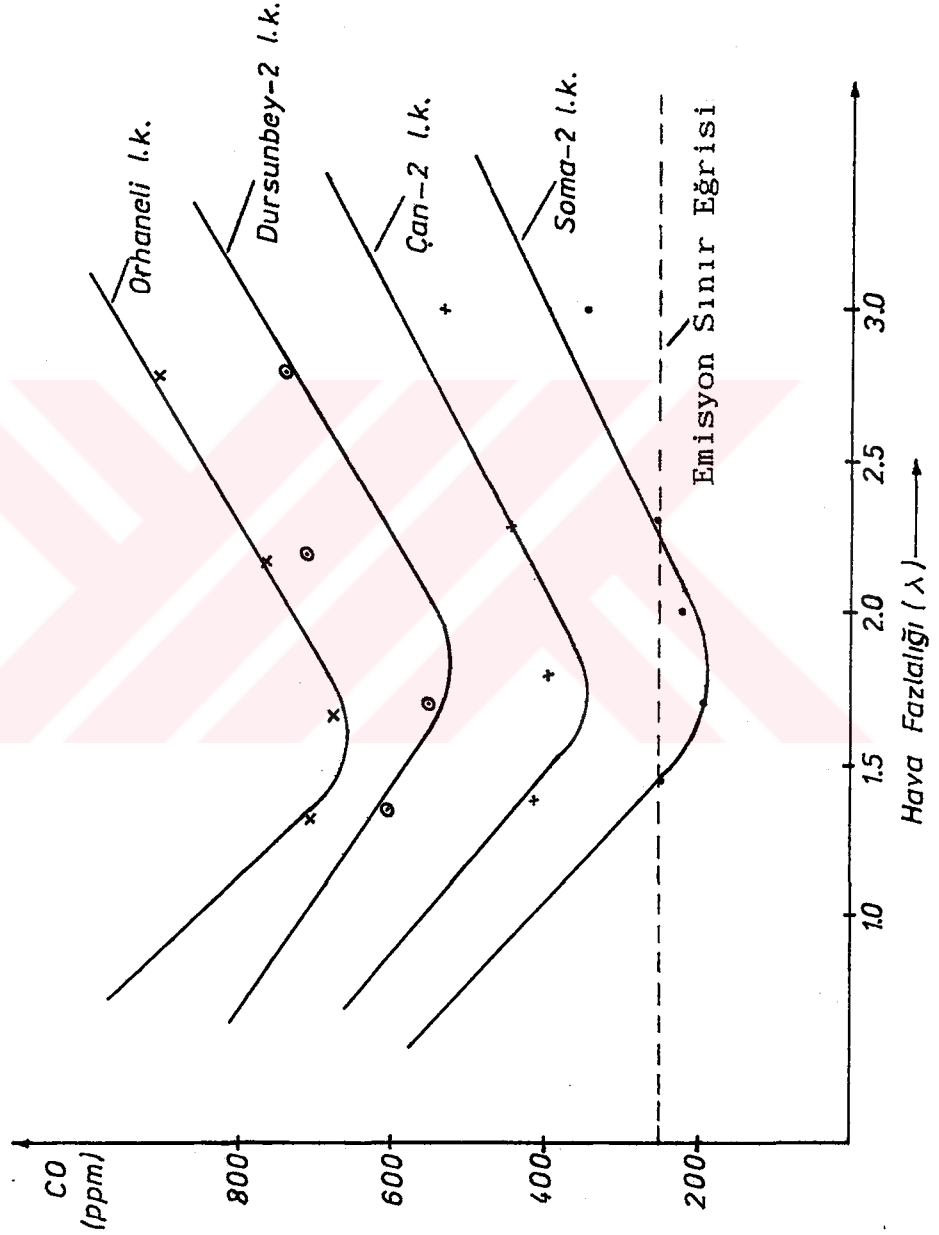
Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 10 - 20 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği	: 320 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 380 mm			Hu : 3860 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		10.2	11.4	712	1312
Minimum		9.1	9.8	654	1107
Ortalama		9.35	10.5	677	1282
Düzeltilmiş	—	12.46	—	903	
İslilik: 5 (Bac)		Kül miktarı: 0.770 (kg)		Lamda: 2.80	

Çizelge-3.69. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklon tertibatlı, Px = 0.09 - 0.14 hPa)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 17.19	
Ağırlığı	: 8.00 kg			Kül: % 14.17	
Doldurma yüksekliği	: 260 mm			S : % 2.00	
Boş yükseklik	: 420 mm			Hu : 4330 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		2.3	18.9	219	240
Minimum		1.9	18.4	117	201
Ortalama		2.08	18.68	164	216
Düzeltilmiş	—	12.55	—	989	1306
İslilik: 5 (Bac)		Kül miktarı: 1.150 (kg)		Lamda: 1.10	



Şekil-3.27. Çizelge-3.65-68'deki sonuçlara göre emisyonların hava fazlalığı ile değişimi



Şekil-3.28. Çizelge-52-68'deki sonuçlara göre karbonmonoksitin (CO) fazlalığı ile değişimi

Çizelge-3.70. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklon tertibatlı, Px = 0.10 - 0.15 hPa)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 17.19	
Ağırlığı	: 8.00 kg			Kül: % 14.17	
Doldurma yüksekliği	: 260 mm			S : % 2.00	
Boş yükseklik	: 420 mm			Hu : 4330 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		2.2	18.9	202	207
Minimum		1.9	18.5	81	165
Ortalama		2.06	18.71	149	194
Düzeltilmiş	—	12.59	—	916	1188
İslilik: 5 (Bac)		Kül miktarı: 1.120 (kg)		Lamda: 1.20	

Çizelge-3.71. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklon tertibatlı, Px = 0.11 - 0.16 hPa)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 17.19	
Ağırlığı	: 8.00 kg			Kül: % 14.17	
Doldurma yüksekliği	: 260 mm			S : % 2.00	
Boş yükseklik	: 420 mm			Hu : 4330 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		2.4	19.0	176	226
Minimum		1.8	18.3	121	191
Ortalama		2.07	18.7	143	211
Düzeltilmiş	—	12.63	—	870	1284
İslilik: 5 (Bac)		Kül miktarı: 1.050 (kg)		Lamda: 1.50	

Çizelge-3.72. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklon tertibatlı, $P_x = 0.11 - 0.18$ hPa)

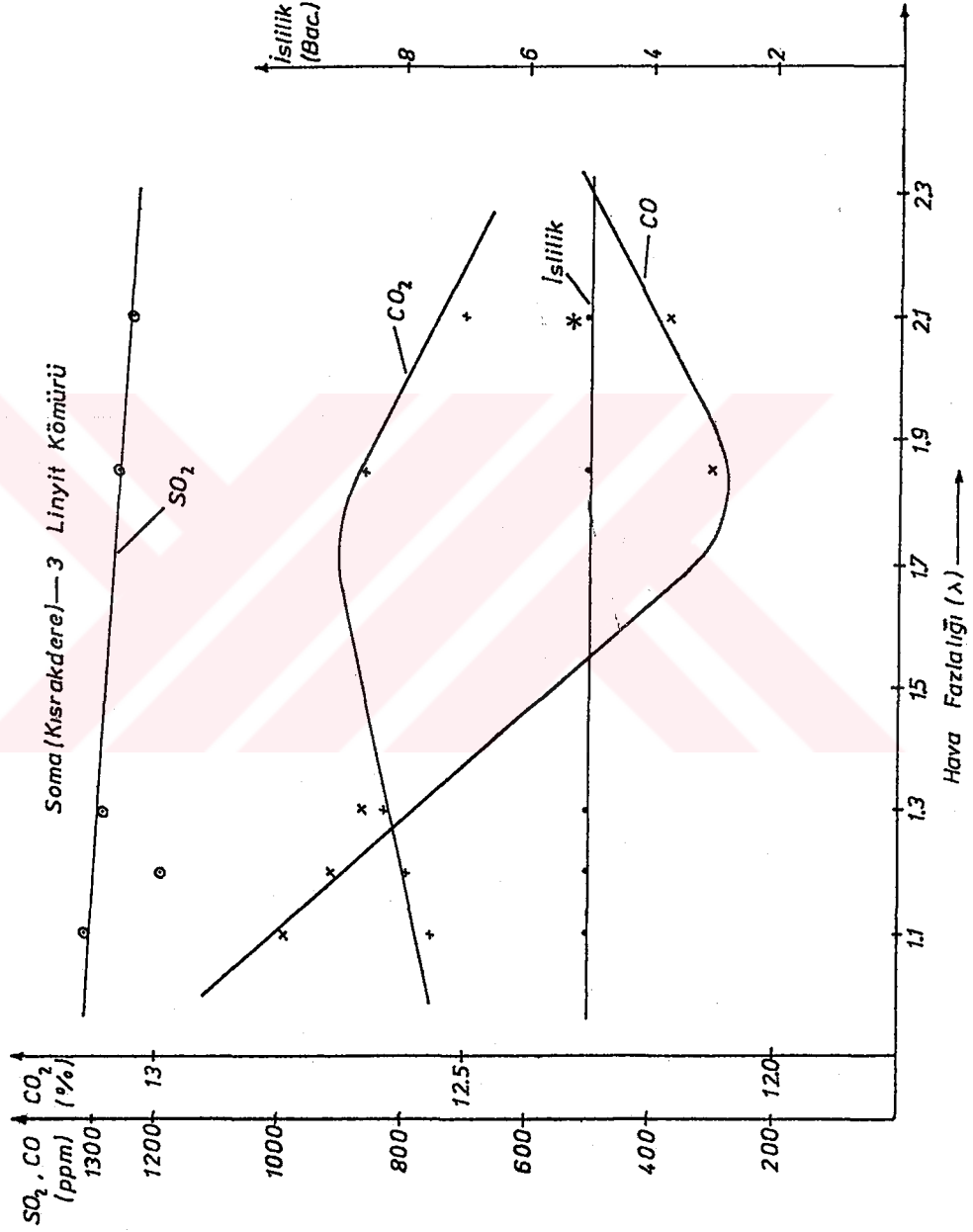
Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 17.19	
Ağırlığı	: 8.00 kg			Kül: % 14.17	
Doldurma yüksekliği:	260 mm			S : % 2.00	
Boş yükseklik	: 420 mm			Hu : 4330 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		2.6	18.7	72	282
Minimum		2.1	18.1	29	210
Ortalama		2.28	18.48	54	227
Düzeltilmiş	—	12.66	—	300	1261
İslilik: 5 (Bac)		Kül miktarı: 0.950 (kg)		Lamda: 1.85	

Çizelge-3.73. Kömürlerin değişen yakma havasına göre yakılması (Siklon tertibatlı, $P_x = 0.12 - 0.19$ hPa)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 17.19	
Ağırlığı	: 8.00 kg			Kül: % 14.17	
Doldurma yüksekliği:	260 mm			S : % 2.00	
Boş yükseklik	: 420 mm			Hu : 4330 kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum		2.5	18.9	94	237
Minimum		1.9	18.3	43	196
Ortalama		2.17	18.57	65	215
Düzeltilmiş	—	12.50	—	374	1243
İslilik: 5 (Bac)		Kül miktarı: 0.940 (kg)		Lamda: 2.10	

3.5.4. Kömür-Fuel oil Karışımının Yakılması

Küçük taneli kömürler (5-10 mm), daha iyi yanma sağlamak amacıyla fuel-oil karıştırılarak yakıldı. Fuel-oil/kömür oranına göre yanma sırasında emisyonların değişimi, parametreler



Şekil-3.29. Çizelge-3.69-73'deki sonuçlara göre emisyonların hava fazlalığı ile değişimi

ile birlikte aşağıdaki çizelgelerde verildi. Fuel oil/kömür oranına göre emisyonların değişimi grafiklerle gösterildi. Deneyler, siklon tertibatı olmaksızın yapıldı.

Çizelge-3.74. Kömürlerin, Fuel-oil karıştırılarak yakılması
(Siklonsuz, Fuel-oil/kömür = 00/100)

Kömürün cinsi: Çan (Emek)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 15.11	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 13.24	
Doldurma yüksekliği:	315 mm			S : % 2.91	
Boş yükseklik	: 385 mm			Hu : 4806 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	262	5.0	15.4	201	908
Minimum	236	4.1	15.1	139	824
Ortalama	252	4.24	15.24	173	852
Düzeltilmiş	—	—	—	420	2073
İslilik: 6 (Bac)	Kül miktarı: 2.00 (kg)		Lamda: 1.60		

Çizelge-3.75. Kömürlerin, Fuel-oil karıştırılarak yakılması
(Siklonsuz, Fuel-oil/kömür = 05/95)

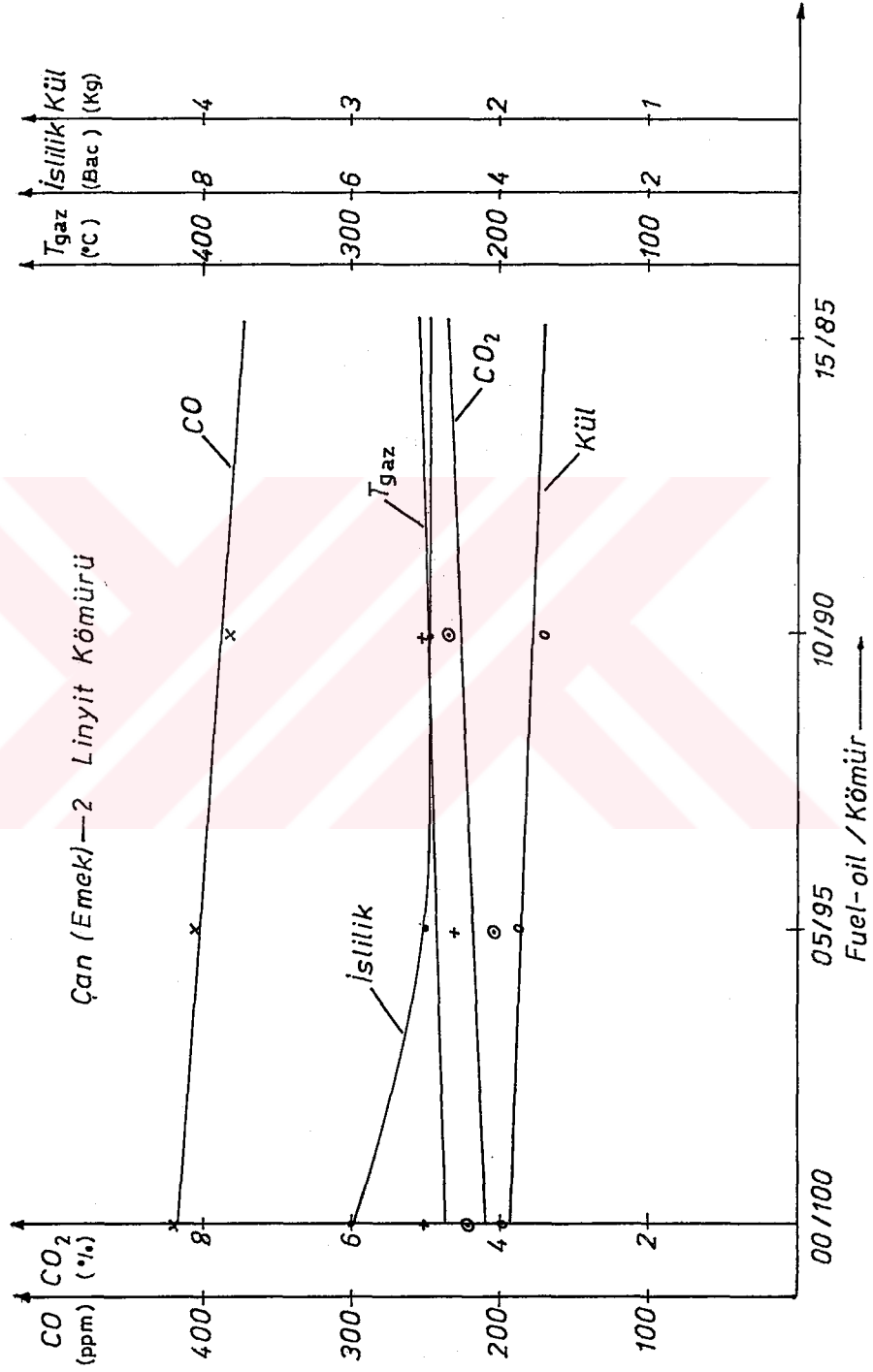
Kömürün cinsi: Çan (Emek)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 15.11	
Ağırlığı	: 9.50 kg			Kül: % 13.24	
Doldurma yüksekliği:	300 mm			S : % 2.91	
Boş yükseklik	: 400 mm			Hu : 4806 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	236	4.2	16.7	193	826
Minimum	220	3.9	16.4	118	617
Ortalama	229	4.06	16.54	130	675
Düzeltilmiş	—	—	—	408	2120
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.870 (kg)		Lamda: 1.60		

Çizelge-3.76. Kömürlerin, Fuel-oil karıştırılarak yakılması
(Siklonsuz, Fuel-oil/kömür = 10/90)

Kömürün cinsi: Çan (Emek)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 15.11	
Ağırlığı	: 9.00 kg			Kül: % 13.24	
Doldurma yüksekliği	: 285 mm			S : % 2.91	
Boş yükseklik	: 415 mm			Hu : 4806 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	269	4.9	15.8	201	847
Minimum	245	4.6	15.5	122	776
Ortalama	255	4.7	15.68	146	811
Düzeltilmiş	—	—	—	384	2135
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.720 (kg)		Lamda: 1.60		

Çizelge-3.77. Kömürlerin, Fuel-oil karıştırılarak yakılması
(Siklonsuz, Fuel-oil/kömür = 00/100)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 15.97	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 10.00	
Doldurma yüksekliği	: 315 mm			S : % 1.058	
Boş yükseklik	: 385 mm			Hu : 5050 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	302	6.7	14.1	124	523
Minimum	284	6.3	13.7	50	454
Ortalama	296	6.53	13.78	102	471
Düzeltilmiş	—	—	—	198	914
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.230 (kg)		Lamda: 1.60		



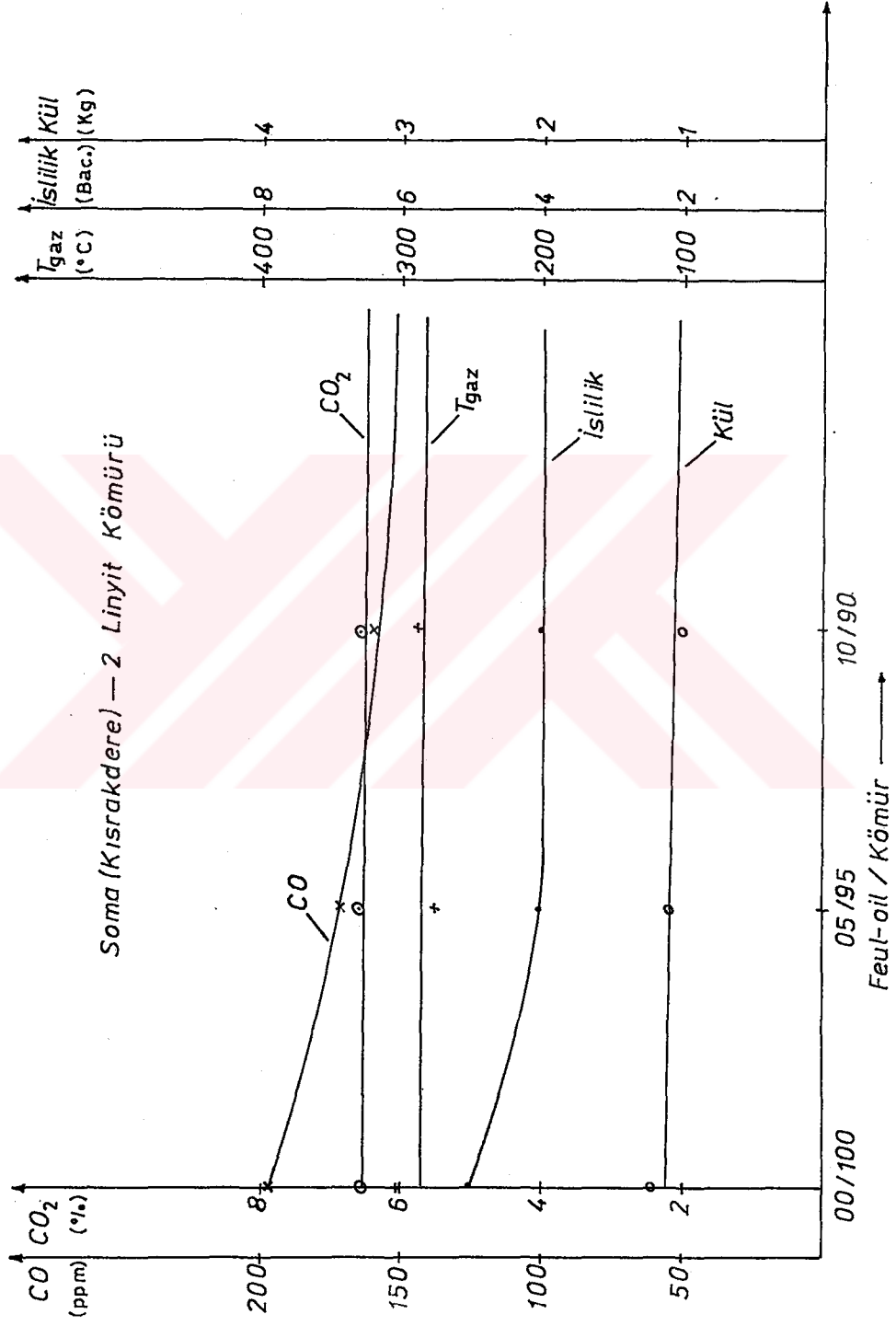
Şekil-3.30. Çizelge-3.74-76'daki sonuçlara göre emisyonların fuel oil/kömür oranı ile değişimi

Çizelge-3.78. Kömürlerin, Fuel-oil karıştırılarak yakılması
(Siklonsuz, Fuel-oil/kömür = 05/95)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 15.97	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 10.00	
Doldurma yüksekliği	: 315 mm			S : % 1.058	
Boş yükseklik	: 385 mm			Hu : 5050 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	284	6.7	14.0	108	554
Minimum	267	6.4	13.6	62	463
Ortalama	275	6.54	13.77	89	492
Düzeltilmiş	—	—	—	172	953
İslilik: 4 (Bac)	Kül miktarı: 1.120 (kg)		Lamda: 1.60		

Çizelge-3.79. Kömürlerin, Fuel-oil karıştırılarak yakılması
(Siklonsuz, Fuel-oil/kömür = 10/90)

Kömürün cinsi: Soma (Kısrakdere)-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 15.97	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 10.00	
Doldurma yüksekliği	: 315 mm			S : % 1.058	
Boş yükseklik	: 385 mm			Hu : 5050 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	290	6.8	14.2	109	567
Minimum	272	6.2	13.5	53	470
Ortalama	282	6.55	13.75	84	507
Düzeltilmiş	—	—	—	162	980
İslilik: 4 (Bac)	Kül miktarı: 1.00 (kg)		Lamda: 1.60		



Şekil-3.31. Çizelge-3.77-79'daki sonuçlara göre emisyonların fuel oil/kömür oranı ile değişimi

Çizelge-3.80. Kömürlerin, Fuel-oil karıştırılarak yakılması
(Siklonsuz, Fuel-oil/kömür = 00/100)

Kömürün cinsi: Dursunbey-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 14.77	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 27.92	
Doldurma yüksekliği	: 315 mm			S : % 1.70	
Boş yükseklik	: 385 mm			Hu : 4035 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	287	5.5	15.2	113	508
Minimum	255	5.2	14.9	81	441
Ortalama	275	5.3	15.07	87	476
Düzeltilmiş	—	—	—	205	1126
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 1.700 (kg)		Lamda: 1.70		

Çizelge-3.81. Kömürlerin, Fuel-oil karıştırılarak yakılması
(Siklonsuz, Fuel-oil/kömür = 05/95)

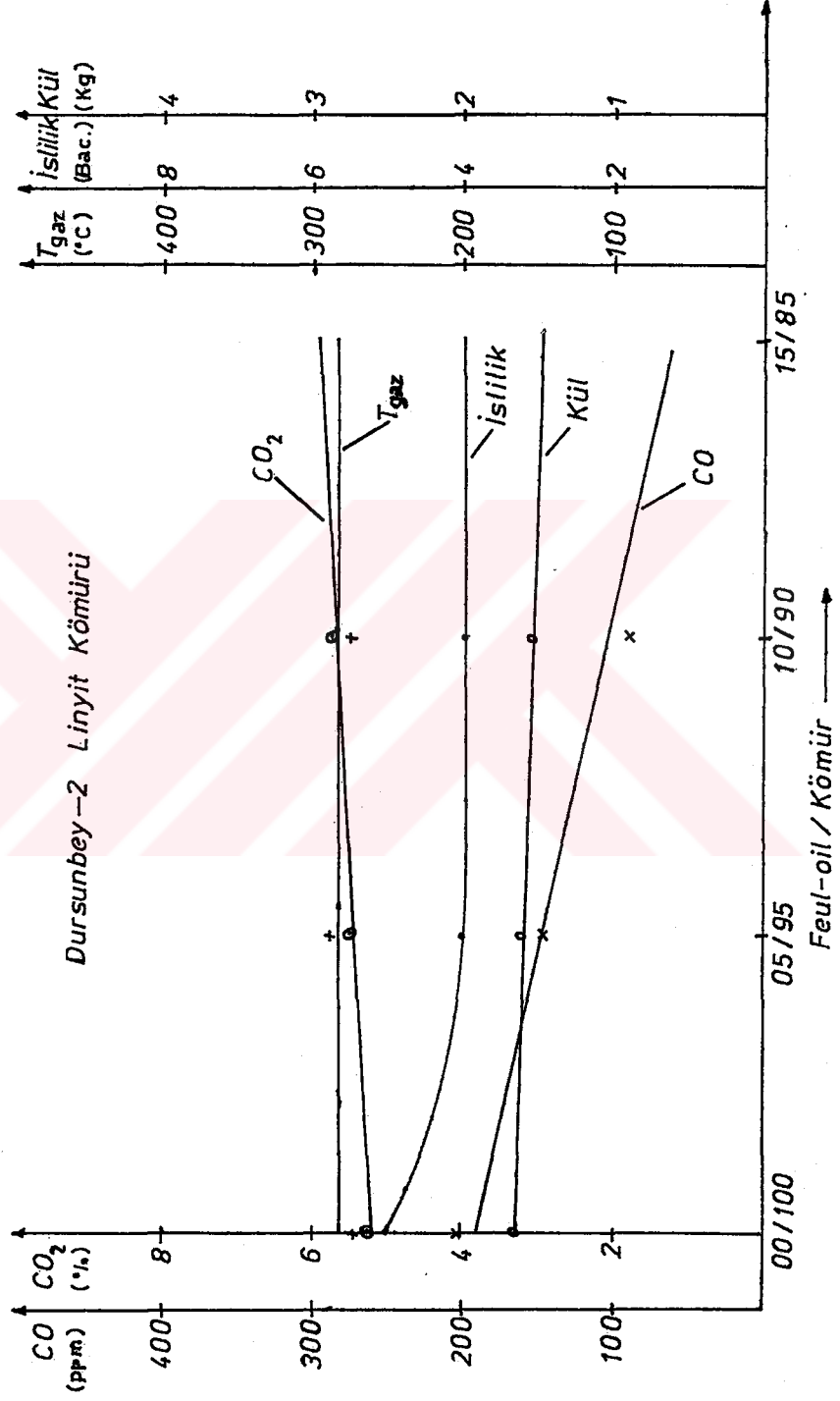
Kömürün cinsi: Dursunbey-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 14.77	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 27.92	
Doldurma yüksekliği	: 300 mm			S : % 1.70	
Boş yükseklik	: 400 mm			Hu : 4035 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	295	5.7	15.2	68	534
Minimum	278	5.3	14.6	55	470
Ortalama	289	5.52	14.87	63	500
Düzeltilmiş	—	—	—	144	1144
İslilik: 4 (Bac)	Kül miktarı: 1.600 (kg)		Lamda: 1.70		

Çizelge-3.82. Kömürlerin, Fuel-oil karıştırılarak yakılması
(Siklonsuz, Fuel-oil/kömür = 10/90)

Kömürün cinsi: Dursunbey-2 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm	Nem: % 14.77			
Ağırlığı	: 10.00 kg	Kül: % 27.92			
Doldurma yüksekliği:	285 mm	S : % 1.70			
Boş yükseklik	: 415 mm	Hu : 4035 Kcal/kg			
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	283	6.0	15.2	47	564
Minimum	266	5.3	14.4	34	490
Ortalama	274	5.71	14.74	40	519
Düzeltilmiş	—	—	—	90	1161
İslilik: 4 (Bac)	Kül miktarı: 1.540 (kg)		Lamda: 1.70		

Çizelge-3.83. Kömürlerin, Fuel-oil karıştırılarak yakılması
(Siklonsuz, Fuel-oil/kömür = 00/100)

Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm	Nem: % 20.00			
Ağırlığı	: 10.00 kg	Kül: % 21.00			
Doldurma yüksekliği:	315 mm	S : % 2.79			
Boş yükseklik	: 385 mm	Hu : 3860 Kcal/kg			
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	268	5.5	15.2	298	704
Minimum	259	5.3	15.0	263	636
Ortalama	265	5.4	15.08	288	663
Düzeltilmiş	—	—	—	681	1570
İslilik: 6 (Bac)	Kül miktarı: 2.430 (kg)		Lamda: 1.70		



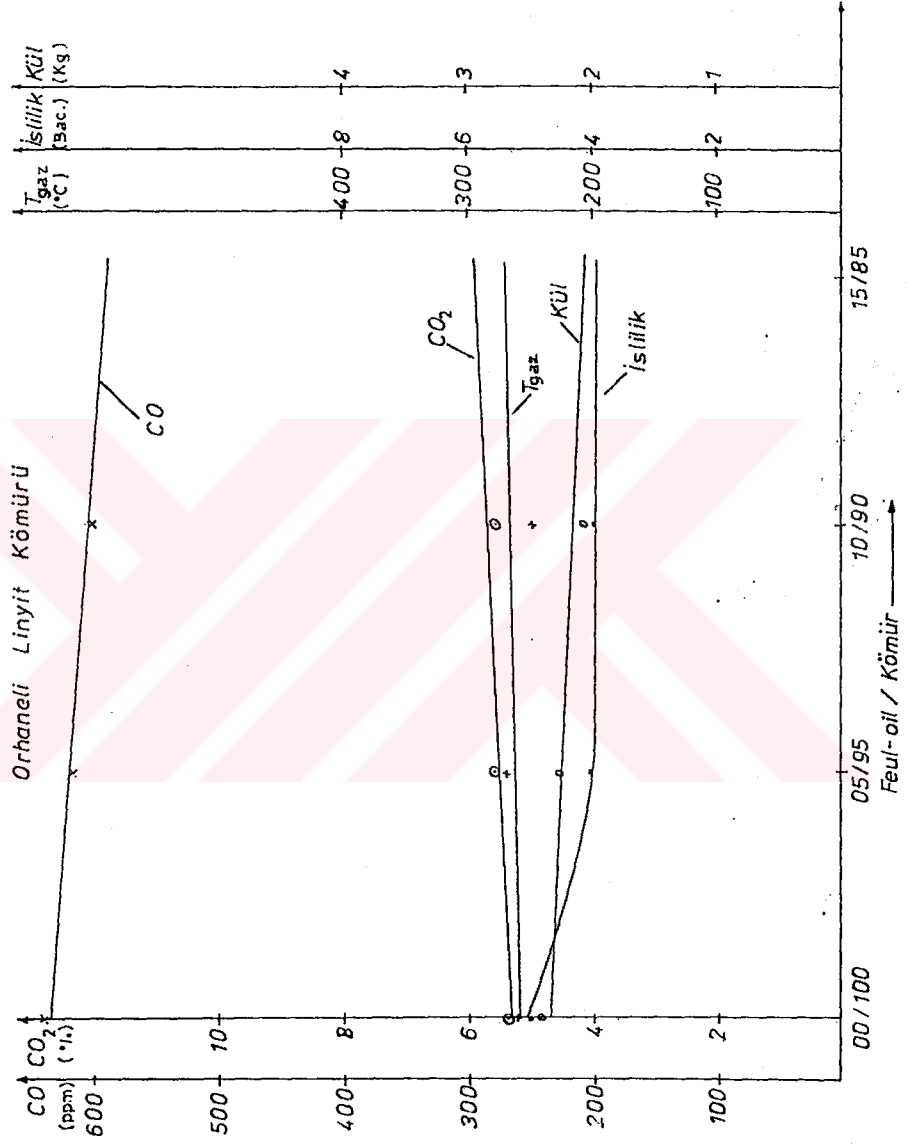
Şekil-3.32. Çizelge-3.80-82'deki sonuçlara göre emisyonların fuel oil/kömür oranı ile değişimi

Çizelge-3.84. Kömürlerin, Fuel-oil karıştırılarak yakılması
(Siklonsuz, Fuel-oil/kömür = 05/95)

Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği:	315 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 385 mm			Hu : 3860 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	274	6.1	15.2	328	789
Minimum	260	5.3	14.3	225	692
Ortalama	268	5.52	14.9	277	713
Düzeltilmiş	—	—	—	635	1637
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 2.270 (kg)		Lamda: 1.70		

Çizelge-3.85. Kömürlerin, Fuel-oil karıştırılarak yakılması
(Siklonsuz, Fuel-oil/kömür = 10/90)

Kömürün cinsi: Orhaneli Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 5 - 10 mm			Nem: % 20.00	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 21.00	
Doldurma yüksekliği:	315 mm			S : % 2.79	
Boş yükseklik	: 385 mm			Hu : 3860 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	258	6.2	15.1	280	800
Minimum	225	5.4	14.3	260	668
Ortalama	245	5.58	14.8	270	736
Düzeltilmiş	—	—	—	609	1662
İslilik: 5 (Bac)	Kül miktarı: 2.050 (kg)		Lamda: 1.70		



Şekil-3.33. Çizelge-3.83-85'deki sonuçlara göre emisyonların fuel oil/kömür oranı ile değişimi

3.5.5. Kömürlerin, Doldurma Yüksekliği Değişimine Göre Yakılması

Optimum yakma şartlarını belirleyebilmek için kömürler, değişik doldurma yüksekliklerinde yakıldı. Yanma sırasında yapılan ölçüm sonuçları aşağıdaki çizelgelerde verildi. Doldurma yüksekliğine göre emisyonların değişimi grafikler halinde gösterildi.

Çizelge-3.86. Kömürlerin, doldurma yüksekliğinin değişimine göre yakılması (Siklon tertibatlı, $P_x = 0.08 - 0.12$ hPa)

Kömürün cinsi: Dursunbey-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm	Nem: % 16.80			
Ağırlığı	: 11.50 kg	Kül: % 7.21			
Doldurma yüksekliği:	380 mm	S : % 0.72			
Boş yükseklik	: 300 mm	Hu : 4898 Kcal/kg			
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	154	5.7	16.2	158	167
Minimum	138	4.6	15.1	47	130
Ortalama	146	5.2	15.41	93	141
Düzeltilmiş	—	—	—	234	354
İslilik: 7 (Bac)		Kül miktarı: 0.970 (kg)		Lamda: 1.50	

Çizelge-3.87. Kömürlerin, doldurma yüksekliğinin değişimine göre yakılması (Siklon tertibatlı, $P_x = 0.09 - 0.13$ hPa)

Kömürün cinsi: Dursunbey-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 16.80	
Ağırlığı	: 10.00 kg			Kül: % 7.21	
Doldurma yüksekliği	: 330 mm			S : % 0.72	
Boş yükseklik	: 350 mm			Hu : 4898 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	178	6.1	15.6	176	177
Minimum	150	4.9	14.3	43	137
Ortalama	167	5.5	14.96	94	156
Düzeltilmiş	—	—	—	217	361
İslilik: 7 (Bac)		Kül miktarı: 0.880 (kg)		Lamda: 1.50	

Çizelge-3.88. Kömürlerin, doldurma yüksekliğinin değişimine göre yakılması (Siklon tertibatlı, $P_x = 0.10 - 0.14$ hPa)

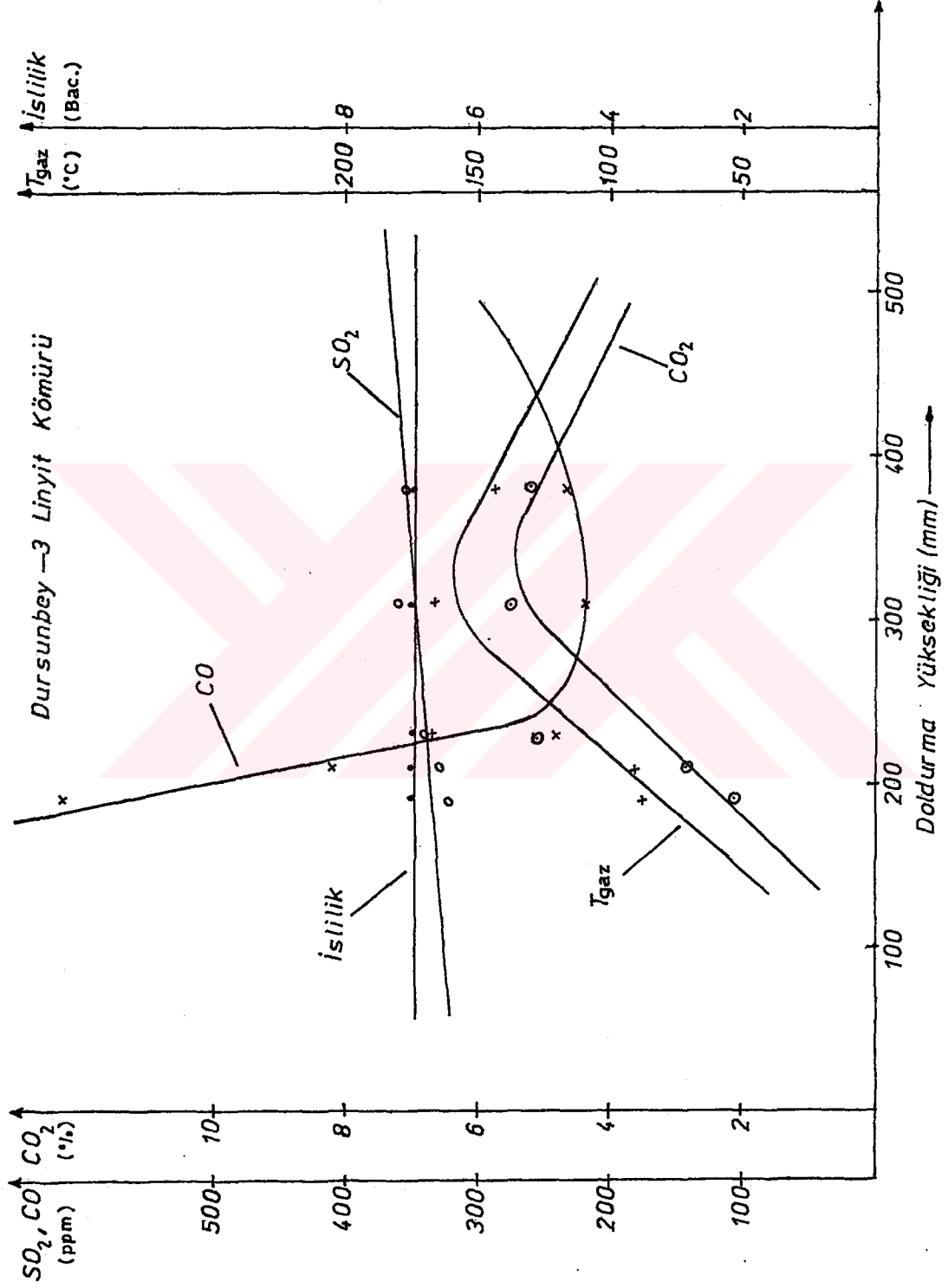
Kömürün cinsi: Dursunbey-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 16.80	
Ağırlığı	: 8.50 kg			Kül: % 7.21	
Doldurma yüksekliği	: 280 mm			S : % 0.72	
Boş yükseklik	: 400 mm			Hu : 4898 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	180	5.5	15.6	107	153
Minimum	160	4.9	14.9	78	81
Ortalama	168	5.12	15.35	98	139
Düzeltilmiş	—	—	—	242	344
İslilik: 7 (Bac)		Kül miktarı: 0.790 (kg)		Lamda: 1.50	

Çizelge-3.89. Kömürlerin, doldurma yüksekliğinin değişimine göre yakılması (Siklon tertibatlı, Px =0.10 - 0.14 hPa)

Kömürün cinsi: Dursunbey-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 16.80	
Ağırlığı	: 7.00 kg			Kül: % 7.21	
Doldurma yüksekliği:	230 mm			S : % 0.72	
Boş yükseklik	: 450 mm			Hu : 4898 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	95	3.4	17.8	200	106
Minimum	86	2.3	16.7	76	72
Ortalama	91	2.86	17.43	105	83
Düzeltilmiş	—	—	—	411	326
İslilik: 7 (Bac)	Kül miktarı: 0.500 (kg)		Lamda: 1.50		

Çizelge-3.90. Kömürlerin, doldurma yüksekliğinin değişimine göre yakılması (Siklon tertibatlı, Px =0.10 - 0.15 hPa)

Kömürün cinsi: Dursunbey-3 Linyit Kömürü					
Tane iriliği	: 20 - 40 mm			Nem: % 16.80	
Ağırlığı	: 5.50 kg			Kül: % 7.21	
Doldurma yüksekliği:	180 mm			S : % 0.72	
Boş yükseklik	: 500 mm			Hu : 4898 Kcal/kg	
	Tgaz (°C)	CO2 (%)	O2 (%)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
Maksimum	92	2.2	18.8	214	63
Minimum	85	2.0	18.5	44	46
Ortalama	88	2.1	18.67	103	53
Düzeltilmiş	—	—	—	618	318
İslilik: 7 (Bac)	Kül miktarı: 0.550 (kg)		Lamda: 1.50		



Şekil-3.34. Çizelge-3.86-90'daki sonuçlara göre emisyonların kömür doldurma yüksekliği ile değişimi

4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

4.1. Kömürün Tane İrilik Değişimine Göre Yakılması

Deneyleri yapılan kömürlerde genelde; karbonmonoksit emisyonu kömür tane iriliği 10-20 mm arasına kadar düşmekte, sonra tekrar yükselmektedir. Küçük taneli kömürlerin (özellikle 10 mm'den küçük) ızgaralı sistemlerde yakılması oldukça zordur. Çünkü bu kömürlerin tane aralarındaki boşluklar çok az olduğundan yakma havasının yanma bölgesine geçişi zor olmaktadır. Bu da eksik yanmaya ve bir eksik yanma ürünü olan karbonmonoksitin yüksek olmasına neden olur.

Kömür tane iriliği arttıkça (20-30 mm aralığından sonra) karbonmonoksit emisyonu da artmaktadır. Kömürün tane iriliği büyüdükçe, belirli ağırlıktaki kömürün ısı transfer alanı düşeceğinden (daha küçük tanelere göre) yanma zorlanacak ve eksik yanma sonucu karbonmonoksit artacaktır. Bundan başka kömür tanesinin dış yüzeyinin yanması sonucu küllenme meydana gelmesiyle ısının daha iç kısımlara gitmesi ve dolayısıyla yanmanın engellenmesi sonucu oluşan eksik yanmayla karbonmonoksit artmaktadır (Şekil-3.8-12).

Karbonmonoksit için 200-250ppm'lik emisyon sınır değerine ancak, ızgaralı sistemlerde, kömürlerin 10-40 mm tane irilik aralığında yakılmasıyla ulaşılabilmektedir. Daha küçük ve daha iri tanelerde emisyon değerleri yüksek çıkmıştır(Şelil-3.12).

Karbondioksit emisyonları ise, karbonmonoksitin düşük olduğu yerlerde yüksek, yüksek olduğu yerlerde düşük bulunmuştur. Karbendioksitin yüksek olduğu yerler yanmanın iyi olduğu bölgelerdir (Şelil-3.8-11).

Kükürtdioksit emisyonları, kömürün tane irilik değişimine bağlı olmaksızın, kömürün yapısındaki kükürt miktarına bağlı olarak sabit kalmaktadır. Bu bölümde denenen Soma (Kısrakdere)-1, Dursunbey-1, Çan (Emek)-1, ve Orhaneli linyit kömürlerinde Kükürtdioksit emisyonu için 700 ppm'lik sınır değeri aşılmaktadır (Şekil-3.14). Dursunbey-3 linyit kömüründe ise,

kükürtdioksit emisyonu, sınır değerin altında kalmaktadır. (Şekil-3.18).

Bir eksik yanma ürünü olan ıslilik değeri de kömür tane iriliğine bağlı olmaksızın yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Bacharach ıslilik skalasına göre 6 sınır değerin altında, sadece Soma (Kısrakdere)-1 kömürü kalmış, diğer kömürler ise sınır değerin üzerinde çıkmıştır (Şekil-3.13)

Yanma sonucu oluşan ızgara küllerinde ise; genelde yanmanın iyi olduğu 10-30 mm arasında en düşük değerine ulaşmakta, diğer durumlarda yüksek çıkmaktadır. Bu da, yanmanın iyi olduğu bölgede ince kül tanelerinin duman gazları ile taşınarak ya baca kanallarında kalması veya dışarıya atılması nedeniyle düşük çıkmaktadır. Yalnız, Orhaneli linyit kömürünün yakılmasıyla oluşan kül miktarı, tane iriliğinin artmasıyla düşmektedir (Şekil-3.15.). Bu linyit kömürü, yanma sonucu tamamen toz haline dönüşmektedir. Toz haline dönüşen bu küller, yakma havasının hareketlendirmesiyle duman gazları tarafından taşınmaktadır. Orhaneli linyit kömürü, ısı karşısında kolay dağılabilme özelliğine sahiptir. Dağılma, tane iriliği büyüdükçe daha kolay olmaktadır. Bunun sonucu olarak tane iriliği arttıkça, küllerin duman gazları tarafından taşınması kolaylaşmaktadır.

Yanma sonucu oluşan duman gazlarının sıcaklığı, yanmanın iyi olduğu bölgelerde (kömür tane iriliğinin 10-40 mm arasında) yüksek, diğer bölgelerde düşüktür (Şekil-3.16). Yanmanın iyi olduğu bölgede maksimum ısı elde edilmekte ve bu ısının bir kısmı da duman gazları ile taşınmaktadır.

Dursunbey-3 ve Soma-3 kömürlerinin, tane irilik değişimine göre yakılmasıyla oluşan emisyonlar da yaklaşık olarak yukarıdaki deneylerde elde edilen değerlere benzer değişimler göstermiştir. Buradaki deneyler, hava fazlalık katsayısının (λ) 1.5 olduğu durumda ve duman kanalında, Şekil-3.7'deki deney düzeneğinde görülen siklon tertibatlı olarak yapılmıştır.

4.2. Kömür-CaCO₃ Karışımının Yakılması

Yanma sonucu oluşan kükürtdioksiti azaltmak için, kömüre kireç tozu (CaCO₃) karıştırıldı. Karıştırılan kireç tozu miktarı, yakıtın analizinde belirlenen kükürt yüzdesine göre alındı.

Deneyler sonucunda, artan CaCO₃/S oranına göre duman gazlarındaki kükürtdioksit emisyonunun da düştüğü belirlendi. Yalnız, CaCO₃/S oranının artış değerlerine göre kükürtdioksitte azalan bir düşüş (sabite yaklaşan) meydana gelmektedir.



(4.1) ve (4.2) eşitliklerindeki reaksiyonların gerçekleşebilmesi için, yanma sonucu açığa çıkan kükürtdioksitin yeterli süre CaO ile temasta bulunması gerekir. Aksi halde, kükürtdioksit tutma verimi de düşer.

Yukarıda açıklanan düşünceye göre, deneylerde yanma sırasında oluşan SO₂ ile CaO yeterli sürede temasta tutulamamıştır.

Yukarıda açıklanan SO₂'yi azaltma yönteminde, kömürdeki kükürt miktarından daha fazla CaCO₃'ün kömüre karıştırılması uygun değildir. Çünkü, kükürt giderme derecesindeki artış azalmaktadır (Şekil-3.23).

Aşağıdaki Çizelge-4.1'de deney kömürlerinin kireç tozu karıştırılarak yakılması sonucu kükürt giderme derecelerini vermektedir.

CaCO₃/S oranı arttıkça CO emisyonu da artmaktadır. Kömür tanesinin yüzeyinin CaCO₃ tarafından kaplanması sonucu ısının kömürdeki dağılımının engellenmesi sonucu eksik yanma oluşmakta ve bu nedenle CO artmaktadır (Şekil-3.19-22).

Karbonmonoksit emisyonundaki artmaya paralel olarak, yanmanın zorlanması nedeniyle karbondioksit emisyonu düşmektedir.

Çizelge-4.1. Kömür-CaCO₃ karışımının yakılmasında SO₂ giderme derecesi

Kömürün Cinsi	S %	CaCO ₃ /S	SO ₂ giderme derecesi %
Orhaneli		1/3	37
linyit	2.79	2/3	56
kömürü		3/3	60
Dursunbey-2		1/3	34
linyit	1.70	2/3	57
kömürü		3/3	64
Soma-2		1/3	19
linyit	1.058	2/3	33
kömürü		3/3	37
Çan-2		1/3	27
linyit	2.91	2/3	45
kömürü		3/3	49

Kömür yüzeyinin CaCO₃ ile kaplanması sonucu uçucu kül ve katı madde çıkışlarının bir kısmı engellenmektedir. Bunun sonucu olarak da islilik bir miktar düşmekte ve ızgara külünde de bir miktar artış olmaktadır (Şekil-3.19-22)

4.3. Kömürlerin Yakma Havaasının Değişimine Göre Yakılması

Yakıtların yakılmasında, minimum yakma havası hesabı yapılır. Yakıtın analizine göre belirlenen bu havanın, aslında yakmayı teorik olarak tam sağlaması gerekir. Fakat; yakıt tane iriliği, yakıt doldurma yüksekliği ve yakıcının konstrüksiyonuna bağlı olarak gönderilen havanın bir kısmı yanma bölgesine ulaşamaz ve ya duman gazları ile yakıcıyı terk eder ya da yakıcının yanma bölgesi dışındaki diğer kısımlarından dışarıya çıkar. Bu durumda gönderilen hava yetersiz kalır ve yanma bölgesine fazla hava gönderme gereği ortaya çıkar. Fakat, hava gereğinden fazla olursa, yanma bölgesinde daha yanma olmadan duman gazları ile uzaklaşır.

Yapılan deneylerde, CO emisyonu, $\lambda = 1.7$ değerine kadar

azalmakta, daha sonra artış göstermektedir. $\lambda < 1.7$ olduğu kısımlarda; yakma havasının yanma bölgesine ulaşır, yanmayı sağlayacak kısmının az olması nedeniyle eksik yanma oluşur ve CO emisyonu yüksek çıkar. $\lambda > 1.7$ olduğu durumlarda; yakma havası, yanma bölgesinde oluşan duman gazlarını hızla uzaklaştırıp, yanma bölgesini soğutması nedeniyle yine eksik yanma ve CO emisyonunda artma meydana gelir (Şekil-3.28).

Karbondiyoksit emisyonu; yanmanın iyi olduğu $\lambda = 1.7$ civarında maksimuma çıkmakta, diğer kısımlarda düşmektedir (Şekil-3.24-29).

Hava fazlalığının artışına göre, kül miktarında azalma görülmektedir. Gönderilen havanın hızı arttıkça, yanma sırasında oluşan küllerin bir kısmının duman gazları ile taşınması da artmakta ve dolayısıyla kül miktarı azalmaktadır (Şekil-3.24-29).

4.4. Kömür-Fuel oil Karışımının Yakılması

Küçük taneli kömürlerin (<10 mm), ızgaralı yakma sistemlerinde yakılması çok zor olur ve eksik yanma sonucu yüksek oranda karbonmonoksit emisyonu açığa çıkar. Daha kolay yanabileceği düşüncesiyle, bu kömürler belli oranlarda fuel-oil karıştırılarak yakıldı.

Yapılan deneyler sonucunda; fuel-oil/kömür oranı arttıkça, karbonmonoksitin düştüğü gözlemlendi. Karışım oranı arttıkça, ısı değer de artacağından yanma daha iyi olmaktadır. Sonuçta karbondiyoksit artarken karbonmonoksit de düşmektedir (Şekil-3.30-33).

Duman gazı sıcaklığında, artan fuel-oil/kömür oranına göre çok az bir artma görüldü. Kül miktarı ve ısı değişimi pek değişim olmadığı gözlemlendi (Şekil-3.30-33).

Bütün bu sonuçlara rağmen; yanma sırasında yakma sisteminin (sobanın) bulunduğu hacim içerisine fuel-oil kokusu yayılmakta ve sağlıklı bir ortam yaratılmaktadır. Ayrıca, sobanın kapatılıp yanmanın durdurulmasından sonra kalan yakıttaki fuel-oil yanmadan eriyerek ızgara altına inmektedir. Bu nedenlerle; küçük kapasiteli ızgaralı yakma sistemlerinde kömür-fuel oil karışımının yakılması uygun değildir.

4.5. Kömür Doldurma Yüksekliğinin Değişimine Göre Yakma

Yanma işlemi, genelde gaz fazında olmaktadır. Izgaralı sistemlerde yanma, sisteme doldurulan yakıtın üstünde kalan boşlukta meydana gelmektedir. Yakıt dolurma yüksekliğinin üzerinde kalan boşluk, yanmanın düzeni için çok önemlidir. Boşluk gereğinden az olursa, yanma için yeterli ortam bulunamayacağından, yanmamış gazlar duman gazları ile birlikte taşınır. Boşluk çok olduğunda, yanma bölgesi daha çok soğuyacağından yine eksik yanma ve eksik yanma ürünleri meydana gelir.

Yapılan deneylerde, üstteki boşluk ile kömür doldurma yüksekliğinin yaklaşık olarak aynı olduğu durumda, uygun yanma ve minimum zararlı emisyonların oluştuğu belirlendi(Şekil-3.34).

Sisteme ilave edilen siklon ile çok az partikül madde tutulabilmektedir (10 kg kömür yakılmasına karşılık siklonda tutulan partikül madde 10-20 gr arasındadır). Yanma sonucu oluşan partikül maddelerin siklonun tutma sınırından daha küçük oldukları sanılmaktadır. Ayrıca; yanma sırasında, baca çekişini de düşürmektedir (0.15 hPa'dan 0.12 hPa'a kadar).

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Düşük kapasiteli ızgaralı sistemlerde, daha iyi yanma elde etmek ve yanma sonucu oluşan zararlı emisyonların azaltılabilirliğini araştırmak için yapılan çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar çıkarıldı:

1-) 5 mm ile 80 mm tane irilik aralıklarındaki kömürlerin yakılmasıyla yapılan deneylerde;

- Karbonmonoksit emisyonunda; Soma (Kısrakdere)-1 ve Orhaneli linyit kömürlerinde 200 ppm'lik sınır değerinin altında kalınmakta, diğer kömürlerde sadece 20-30 mm tane irilik aralığında sınır değeri yakınlarında olmaktadır (bu kömürlerde 20-30 mm tane irilik aralığı dışındaki durumlarda CO emisyonu sınır değerinin üzerinde çıkmaktadır).

- Kükürtdioksit emisyonunun, yapılan ölçümlerinde kömür tane iriliğine bağlı olmadığı belirlendi. SO₂, sadece Dursunbey-3 kömüründe 700 ppm'lik sınır değerinin altında çıkmaktadır. Buradan; kükürt oranı %1'den büyük olan kömürlerin yakılmasında, herhangi bir önleyici tedbir alınmadığında oluşan SO₂ emisyonunun sınır değeri aştığı belirlenmiştir.

- Islilik emisyonu, sadece Soma kömürlerinde sınır değerinin (Bacharach Skalasına göre 6) altında çıkmakta, diğer kömürlerde yüksek çıkmaktadır.

2-) SO₂'yi azaltmak için yapılan, kömür-CaCO₃ karışımı yakılması deneylerinde;

- CaCO₃/S oranının artışına göre, SO₂ emisyonunda sabite yaklaşan bir azalma olmaktadır. % 50 civarında SO₂ giderme derecesi elde edilmiştir.

- CaCO₃/S oranının artışına göre, CO emisyonunda yükselme, ıslilikte azalma meydana gelmektedir.

3-) Yakma havasının değişimine göre yapılan yakma

deneylerinde;

- Hava fazlalık katsayısının yaklaşık 1.7 civarında olduğu durumda minimum CO emisyonu elde edildi.
- SO₂ ve ıslilik emisyonlarının yakma havası değişimine bağlı olmadığı belirlendi.

4-) Kömür-Fuel oil karışımının yakılması deneylerinde;

- Fuel-oil/kömür oranı arttıkça CO emisyonu azalmaktadır.
- Fuel-oil/kömür oranı arttıkça SO₂ yükselmekte, ıslilik değişmemektedir.

5-) Kömür doldurma yüksekliği değiştirilerek yapılan deneylerde;

- Doldurma yüksekliği, yanma bölgesi tam yüksekliğinin yarısına yakın olduğunda minimum CO emisyonu elde edildi.
- SO₂ ve ıslilik emisyonları, doldurma yüksekliğine bağlı değildir.

Bu sonuçlara göre:

Düşük kapasiteli ızgaralı sistemlerde;

- Kömürlerin, 10-40 mm tane irilik aralıklarında yakılması,
- Kömürlerin, kimyasal bileşimindeki kükürdünün yaklaşık 2/3 katı CaCO₃ karıştırılarak yakılması,
- Bu sistemlere, yakma havası temini için ayrı bir düzen yapılamayacağına göre; sistem ilk yapılırken doğal olarak yanma yanma bölgesine yeterli havanın (yaklaşık $\lambda = 1.7$) girebilmesinin sağlanması,
- Kömür-Fuel oil karışımının, mahal içine koku yayması nedeniyle yakılmaması,
- Kömürün, yakma sisteminin yanma bölgesinin yarısına kadar doldurularak yakılması,
- Siklon tertibatına gerek olmadığı önerilebilir.

KAYNAKLAR

- 1-) AHMED, M.; ÇULFAZ, M. "Kömürden Mineral Maddenin Kimyasal Yöntemle Giderilmesi", Yanma ve Hava Kirliliği I.Ulusal Sempozyumu, Gazi Üniversitesi-Ankara, S.44-58, (1991).
- 2-) AKBABA, S. "Zehirli Bir Gaz Karbonmonoksit" Bilim ve Teknik TÜBİTAK, (1989) S.56
- 3-) ANONİM, "2000'li Yıllara Doğru Çevre", Çevre Müdürlüğü Ankara, (1990) S.142-146.
- 4-) ANONİM, "Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği", Başbakanlık Çevre Müdürlüğü, 2 Kasım 1986 Gün ve 19269 Sayılı Resmi Gazete.
- 5-) ANONİM, "Hava Kirliliği ile İlgili Çalışmalar", Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü, Çevre ve İnsan, Yıl:2 Sayı:6 (1987) S.52-56.
- 6-) ANONİM, "Isı Yalıtım Yönetmeliği", Başbakanlık Çevre Müdürlüğü, 16 Ocak 1985 Tarih ve 18637 Sayılı Resmi Gazete.
- 7-) AR, İ.; DOĞU, G.; SARAÇOĞLU, N.; DOĞU, T. " Kireçtaşlarının Kükürtdioksit Tutma Kapasitelerinin Karakterizasyonu" Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I. Ulusal Sempozyumu,G.Ü. Ankara, S.419-431 (1991).
- 8-) ARIN,G."Temiz Yakıt İçin Linyitlerin İşlenmesi", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I.Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.276-295 (1991).
- 9-) ARISOY,A.; KUR, H. "Sabit Yataklarda Kömür Yanmasının Nümerik Simülasyonu", Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, ODTÜ. Ankara, S.819-836 (1987).
- 10-) ARISOY, A. "Kömürlerin Yakılması", Kömür, İTÜ. İstanbul, (1990) S.357-399.
- 11-) ATAKAN, S. "Düşük Kalorili Yakıtlar ve Yakma Teknolojileri", TÜBİTAK-Gebze, Proje: 0610018503, (1987) S.52-56.

- 12-) ATAKAN, S. "Siklon Toz Tutucuların Dizayn ve Performans İncelemesi", Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, ODTÜ-Ankara S.889-898 (1987).
- 13-) ATEŞOK, G. "Kömürlerin Koklaştırılması", Kömür, İTÜ İstanbul, (1990) S.512-609.
- 14-) AYIK, M.; ÖZBAY., M.; SİVRİOĞLU, M. "Toz Filtreleri Test Sistemi ve Siklon Performansı Deneyleri", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I.Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.410-431 (1991).
- 15-) AYVAZ, Z. "Yüksek Kükürtlü Yakıtların Baca Gazlarındaki Kükürtdioksitin Yaş Sistemle Eliminasyonu", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi Cilt 11, Sayı 3 (1988) S.17-21.
- 16-) BAŞKAYA, Ş.; DURMAZ, A. "Katı Yakıtlı Kalorifer Kazanlarının Yanma ve Emisyon Özelliklerinin İyileştirilmesi", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I.Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.173-195. (1991).
- 17-) BERGE, W. "Erdgas und Umweltschutz", gwf-gas/Erdgas H. 10/11 127 (1986) S.455-460.
- 18-) BITTER, W.; BOLLMACHER, H. DACHMANN, D. "Emissionsmesstechnik in Grossfeuerungsanlagen" Dokumentation Rauchgasreinigung VDI Verlag, Düsseldorf, (1985). S.62-65.
- 19-) BİRÖN, C. "Türkiye Kömürlerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ve Rezervleri", Uluslararası Kömür eknolijisi Semineri, İstanbul, S.23-52 (1982).
- 20-) BORAT, O. "Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği", Segem Yayınları, Yayın No:107, Ankara, (1983) S.1-16.
- 21-) BORAT, O. "Yanma Stokiyometrisi", İTÜ Yayınları İstanbul, (1983) S.52-67.
- 22-) BOSNJAKOVIC, F. "Technische Thermodynamik", 1.Teil, Verlag Theoder Steinkopft-Dresten, (1972). S.362-388.
- 23-) CEMALOĞLU, M.; YILMAZ, V.; KIN, B. "Keles (Bursa) ve Ağaçlı (İstanbul) Linyitlerinin Kükürtlerinin

- Giderilmesine ilişkin Bir Çalışma", Doğa TU Kim. 12.2 (1988) S.137-146.
- 24-) ÇATALTAŞ, İ. "Şehir Havaasının Kirlenmesi Olayı ve Düşündürdükleri", Büyük Şehirlerde Havanın Temizlenmesi Kongresi, M.M.O. Yayın No:43, Ankara, S.1-13. (1969).
- 25-) ÇULFAZ, A. "Kömür Hazırlama Teknolojileri", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I.Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.23-43. (1991).
- 26-) DAVIDS, P.; HAUG, N.; LANGE, M.; OELS, H.J.; SCHMIDT, B. "Luftreinhaltung bei Kraftwerks und Industriefeuerungen BWK, Bd.37, Nr.4 (1985) S.160-167.
- 27-) DOĞAN, M. "Çevre ve Hava Kirliliği", Çevre ve İnsan, Yıl 3, Sayı:9, (1988) S.26-31.
- 28-) DOĞAN, Z.; ÖZBAYOĞLU, G.; KUÇUKBAYRAK, S. "Kömürün Kükürdünün Giderilemesi", Kömür, İTÜ-İstanbul, (1990) S.333-355.
- 29-) DURMAZ, A. "Alışıl gelmiş Yakma Sistemleri ve Uygulamaları" Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I. Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.79-99 (1991).
- 30-) DURMAZ, A. "Sobalarda Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği ve Azaltılması", Soba Sanayi Kongresi, TMMOB Yayın No:136, Eskişehir, (1989).
- 31-) DURMAZ, A. "Türkiye'nin Enerji Alt Yapısı ve Hava Kirliliği" I. Uluslararası Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.1-73 (1987).
- 32-) DURMAZ, A.; ÖZSUNAR, A.; ATILGAN, İ. "Sobaların Yanma ve Davranışlarının iyileştirilmesi", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I. Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.186-217 (1991).
- 33-) EKİNCİ, E.; ATAKUL, H.; ÖNER; TOLAY, M. "Enerji Girdisi Olarak Türk Linyitlerinin Çevre Kirlenme Özellikleri" Hava Kirliliği Sempozyumu, Bildiriler-1 İstanbul, S.1-12

- (1985).
- 34-) EKİNCİ, E.; ESKİKAYA, T.; ATAKÜL, H. "Kömürün Akışkan Yatakta Yakılması", Kömür, İTÜ İstanbul, (1990) S.411-445
- 35-) ELSNER, N. "Grundladien der Technischen Thermodynamik" Akademie Verlag-Berlin, (1980) S.397-431.
- 36-) EMRİ, M.; ÇULFAZ, M. "Termik Santrallarda Hava Kirletici Yayılımının Belirlenmesi", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I. Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.577-591 (1991).
- 37-) ERCAN, Y.; DURMAZ, A.; SIVRIOĞLU, M. "Türk Sanayiinde Hava Kirletici Emisyon Ölçümleri", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I. Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.610-634 (1991).
- 38-) ESCHE, M.; IGELBUSCHER, H. "Rauchgasentschwefelung ohne Wiederaufheizung", BWK Bd.37 Nr.1-2, (1985) S.45-50.
- 39-) GAUS, T. "Abgassysteme für haesliche Feuerstaetten", gwf gas/erdgas 127. H. 10/11 (1986) S.461-465.
- 40-) EPPERT, D. "Untesuchungen zur Rauchgasentstickung mit Flugaschen", Staub Reinhaltung der Luft 49. Springer Verlag, (1989) S.205-209.
- 41-) HANSMANN, K. "TA Luft Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft", Verlag C.H. Beck-München (1987) S.197, 245-246.
- 42-) KALMBACH, S.; SCHMOLLING, T. "Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft" Erich Schmidt Verlag, Berlin, (1986) S.36-37,49-50.
- 43-) KARPUZCU, M. "Çevre Mühendisliğine Giriş", İTÜ İstanbul, (1988) S.144-194.
- 44-) KARPUZCU, M. "Çevre Kontrolunun Esasları", İTÜ İstanbul, (1984) S.92-132.
- 45-) KAYTAKOĞLU, S.; DÖĞEROĞLU, T.; KARA, S. "Yakma Kökenli

Kükürtoksit ve Azotoksit Gazlarının Birincil ve ikincil Kontrol Yöntemleri ve Bireysel/Birlikte Giderme Teknolojilerinin Karşılaştırılması", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I. Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.255-275 (1991).

- 46-) KESKİN, V.; DOĞU, G.; DURMAZ, A. "Tunçbilek ve Soma Linyit Küllerinin Kükürt Tutma Özellikleri", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I. Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.309-321 (1991).
- 47-) KIRCHNER, K. KAIZIK, A. "Grundladyen der katalytischen Abgasreinigung", VDI Bericht 525, 119, (1985) S.119-145.
- 48-) KIRIMHAN, S.; ÖZDEMİR, M. "Erzurum'da Azotoksit Gazlarının Hava Kirliliğine Katkısı", Doğa Bilim Dergisi B.8,3, (1984) S.269-273.
- 49-) KNOBLAUCH, K.; RICHTER, E.; JUNTGEN, H. "Simultane SO₂ und NO_x Entfernung aus Rauchgasen durch Adsorptionskatalyse an Aktivkoksen", Chem. Ing. Tech. 57 Nr.3, (1985) S.119-145.
- 50-) KUNDUZ, M. "Sisin Hava Kirliliğine Etkisi", Mühendis ve Makina, Sayı 377, (1991) S.10-13.
- 51-) KURAL, O. "Kömürlerin Briketlenmesi", Kömür, İTÜ İstanbul, (1990) S.446-511.
- 52-) KUÇUKBAYRAK, S. "Farklı Kükürt Giderme Yöntemlerinin Çeşitli Türk Linyitlerine Ygulanması", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, İstanbul 1984.
- 53-) KUÇUKBAYRAK, S.; KADIOĞLU, E.; BASMACI, F. "Çayırhan Linyitinin Kükürdünün Hava Oksidasyonu ile Giderilmesi", Isı Bilim ve Tekniği Dergisi, Cilt 9 Sayı 3, (1986) S.27-32.
- 54-) LEDINEGG, M. "Dampferzeugung, Dampfkessel, Feuerungen", Springer Verlag, Wien, (1966) S.136-139.

- 55-) LURGI "Horizontal Elektrofilter", BS 780/BS 800 Umwelt und Chemietechnik GmbH, Frankfurt, 1982.
- 56-) LURGI "Umweltfreundliche Kraftwerken nach dem Prensip der Atmosphaerischen Zirkulierenden Wirbelschicht", 198. d/5.88, Frankfurt, 1988.
- 57-) MENIG, H. "Abgas Entschwefelung und Entstickung", Deutscher Fachschriften Verlag, Wiesbaden, (1987) S.45-109.
- 58-) MENIG, H. "Luftreinhaltung durch adsorpsiyon, Absorpsiyon und Oxidation", Deutscher Fachschriften Verlag, Wiesbaden, (1977) S.30,151-152.
- 59-) MICHELFELDER, S. "Die Verminderung der Stickoksidemissionen über die optimierung der Brennerkonstruktion", VGB Kraftwerkstechnik, 56(10), Ijmuiden, (1976) S.622-629.
- 60-) MOLL, W.L.H. "Taschenbuch für Umweltschutz II- Biologische Informationen", Ernst Reinhart Verlag, München, (1987) S.160-161.
- 61-) MÜEZZİNOĞLU, A. "Hava Kirliliğinin ve Kontrolunun Esasları", D.E.Ü. Yayınları, Yayın No: 098 87 DK 006042 izmir, (1987) S.1-264.
- 62-) MULLER, H. "Verbrennungs und Emissionsverhalten von Ruckstands Brennen in Dezentralen Kleinverbrennungsanlagen", Dr.Ing., T.U.-Berlin, Fachbereich 21, Umwelttechnik, Berlin, 1986.
- 63-) NIEDING, G. "Wirkung von Schwefeldioksit auf die Menschliche Gesundheit", Dökumentation-Rauchgasreinigung, VDI Verlag (1985) S.6-8.
- 64-) ONAT, K.; GENCELİ, O.; ARISOY, A. "Buhar Kazanları Isıl Hesapları" Istanbul, (1988) S.30-33.
- 65-) ÖNER, G.; YARDIM, M.F.; EKİNCİ, E. "Linyitler ve Hava Kirliliği", Çevre-86 Sempozyumu, E.Ü. izmir, S.1-9 (1986)

- 66-) ÖZBAYOĞLU, G. "Türkiye'nin Yüksek Kükürt İçerikli Linyitlerinin Kömür Hazırlama Yöntemleriyle Arındırılması", Doğa Bilim Dergisi, B.7,3, (1983) S.244-249.
- 67-) ÖZTAN, Y. "Çevre Kirlenmesi", İTÜ İstanbul, (1985) S.12-35.
- 68-) ÖZYAMAN, C. "Katı Yakıtlı Yakma Sistemlerinin Neden Olduğu Çevre Kirliliğinin Akışkan Yatak ile Kontrolü", Çevre-86 Sempozyumu, E.Ü. İzmir, S.1-5 (1986).
- 69-) PEHLİVAN, D. "Kömürün Yanmasında Is ve Zift Oluşumu", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I. Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.218-237 (1991).
- 70-) RENNERT, K.D. "Möglichkeiten der Stickstoffoxidreduzierung in Feuerraumen", Fachreport Rauchgasreinigung, VDI Verlag, (1986) S.13-18.
- 71-) RIETSCHEL, H.; RAISS, W. "Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme Tekniği", Çev:U. Köktürk, Arı Kitabevi, İstanbul, (1973) S.1-30.
- 72-) SCHAFER, H.G.; KEMAL, M.; ŞİMŞİR, F. "Yakma Tesislerinde Oluşan Gaz Emisyonları" D.E.Ü. İzmir, S.1-8 (1990).
- 73-) SCHELSCHMIDT, S. "Physik und Chemie 7-9", Natur und Technik, Berlin, (1978) S.26.
- 74-) SCHEUER, A.; GARDEIK, H.O. "Bildung und Abbau von NO in Zementofenanlagen", ZKG International, H.38,2, Düsseldorf, (1985) S.57-66.
- 75-) SCHMIDT, D. "Untersuchung zum Emissions- und Betriebsverhalten einer Feuerungsanlage bei Verbrennen von körniger Trockenbraunkohle und Braunkohle/Heizöl EL Gemischen", Verein Deutscher Ingenieure, Dr.Ing., Fortschritt-Berichte der VDI Zeitschriften, R.6 Nr.116 Düsseldorf, (1983).
- 76-) SHULTESS, W. "Möglichkeiten zur NOx Minderung für kleine und mittlere Anlage", Special, NOx-Minderung, VDI Verlag

(1987) S.23-28.

- 77-) SIEKMANN, R. "Rauchgasreinigung für kleines Heizkraftwerk", Fachreport Rauchgasreinigung VDI Verlag, (1986) S.9.
- 78-) SİVRİOĞLU, M.; DURMAZ, A.; KUSEYRİ, S. "Toz Arıtma Sistemlerinin Özellikleri ve Optimum Siklon Tasarımı", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I. Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.389-409 (1991).
- 79-) SPORENBERG, P.; SCHANZE, F.J.; WEIDNER, H. "Verfahren für schweröl-/feststoffbefeuerte Industriekessel", Dokumentation Rauchgasreinigung, VDI Verlag, (1985) S.60-62.
- 80-) TANINDI, S. "1981-1983 Yıllarında Ankara'da Hava Kirliliğinin Çocuklar üzerine Etkisi", Doğa Bilim Dergisi, Seri B, cilt 9, sayı 3, (1985) S.69-85.
- 81-) TEKİN, N. "Düşük Değerli Linyitlerin Yakılması ve Çözümü için Tavsiyeler", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, cilt 4 sayı 2, (1981) S.17-23.
- 82-) TS 4900 "Sobalar, Katı Yakıt (Kömür) Yakan", TSE, UDK. 621.181.325. Ankara, (1986).
- 83-) TULBENTÇİ, K. "Kentsel Hava Kirliliğinin Azaltılmasında Isı Yalıtımının Önemi", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I. Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.684-690 (1991).
- 84-) UYAR, T.S. "Kömür-Su Karışımlarının Hazırlanması", Kömür, İTÜ İstanbul, (1990) S.402-409.
- 85-) UYSAL, B.Z. "Akışkan Yataklı Yakma Sistemleri", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I. Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.100-126 (1991).
- 86-) VETTER, E. "Entsorgung von Reststoffen aus Rauchgasreinigung", Teil 1. Grossfeuerungsanlagen Heft 1. Bericht der Arbeitsgruppe Kraftwerksreststoffe, Universitaet Karlsruhe, (1988) S.238-263.
- 87-) VURAL, N. "Toksokoloji", Ankara Üniversitesi, Yayın No:56

Ankara, (1984) S.238-263.

- 88-) WEISWEILER, W.; HOCHSTEIN, B. "Umweltvertraegliche Katalysatoren zur Entstickung", Staub-Reinhaltung der Luft, 49, Springer Verlag, (1989) S.1-7.
- 89-) WELLER, L. "Abwasserfreie Rauchgasreinigung hinter Abfallverbrennungsanlagen", Chemie Ing. Tech. 57. Nr.1 (1985) S.82-84.
- 90-) WILDNER, R. "Entstaubung und Entschwefelung kleiner bis mittelgrosser Kesselanlagen", VDI Verlag, (1986) S.2-8.
- 91-) YENİAY, N. "Hava Kirliliği Kontrolunda Standartların Önemi", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolu I. Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.5-22 (1991).
- 92-) YILMAZ, A.R. "Hava Kirliliğinin Kontrolu", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolu I. Ulusal Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.1-4 (1991).
- 93-) YILMAZ, A.R. "Türkiye'de Hava Kalitesinin Korunması ile ilgili Mevzuat ve Uygulamada Karşılaşılabilecek Muhtemel Problemler", Uluslararası Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği Sempozyumu, G.Ü. Ankara, S.75-100 (1987).
- 94-) YILMAZ, T. "Hava Kirliliği ve Kültürel Eserler", Çevre ve İnsan, Yıl 3, Sayı 8, (1988) S.21-27.

ÖZGEÇMİŞ

12.05.1961'de Balıkesir'de doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Balıkesir'deki okullarda tamamladım. 1979'da girdiğim Uludağ Üniversitesi Balıkesir Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü'nü 1983 yılında bitirdim. 1983-1986 yılları arasında U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisansımı tamamladım. 1986 yazında, DAAD bursu ile Almanya'da Goethe Enstitüsü'nün Almanca kurslarına katıldım. 1986 yılında, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Doktora Programı'na başladım. Halen Doktora'ya devam ediyor ve U.Ü. Balıkesir Mühendislik Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışıyorum.

Mak. Yuk. Müh. Nadir İLTEN
Araştırma Görevlisi



U.Ü. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ