

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORHANELİ LİNYİTİ - BİYOKÜTLE KARIŞIMININ
AKIŞKAN YATAKTA YAKILMASINDA
ÇEVRE KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

79246

Mak.Yük.Müh. M.Handan ÇUBUK

**F.B.E Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 18 Aralık 1998

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hasan A. HEPERKAN (YTÜ)

Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Mahir ARIKOL (BÜ)

Prof.Dr. Hüsnü ATAKÜL (İTÜ)



İstanbul, 1998

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	ii
SİMGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SUNUŞ ve TEŞEKKÜR	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. TÜRK LİNYİTLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER	8
3. BİYOKÜTLE	17
3.1 Biyokütle Nedir	17
3.1.1 Biyokütlenin Avantajları	19
3.1.2 Tatlı-Sorgum Hakkında Genel Bilgiler	20
3.1.3 Tatlı-Sorgumun Avantajları	21
3.2 Biyokütle ve Biyoenerji	24
3.2.1 Tatlı-Sorgumdan Enerji Elde Edilmesi	25
3.3 Fosil Yakıtların ve Tatlı-Sorgumun Çevresel Etkileri	27
3.3.1 Fosil Yakıtların Çevresel Etkileri	28
3.3.2 Tatlı-Sorgumun Çevresel Etkileri	28
3.3.3 Hava Kirliliğini Önlemede Tatlı-Sorgumun Rolü	29
3.4 Biyokütle Cinsi Yakıtlar ile İlgili Yapılan Çalışmalar	32
4. YAKMA SİSTEMLERİ	40
4.1 Yanma Olayı	40
4.2 Kömür Yakma Sistemleri	40
4.2.1 Yakma Sistemlerinin Karşılaştırılması	41
4.3 Akışkanlaşma ve Akışkan Yataklı Yakma Sistemleri	42
4.3.1 Akışkanlaşma	42
4.3.2 Akışkan Yataklı Yakma Sistemleri	43
4.3.2.1 Akışkan Yatağın Avantajları	45
4.3.2.1.a Yanma avantajları	45
4.3.2.1.b Kazan Dizayn Avantajları	46
4.3.2.1.c Çevre Avantajları	47
4.3.2.2 Akışkan Yatağın Dezavantajları	47

5.	LİNYİT VE TATLI-SORGUM NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI VE ANALİZLERİ	49
5.1.	Deneylede Kullanılan Numuneler	49
5.2.	Numunelere Uygulanan Analizler	50
6.	TEORİK YANMA HESAPLARI	52
6.1.	Yakma Havası Miktarının Bulunması	52
6.2.	Yanma Ürünleri Miktarlarının Bulunması	54
7.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	58
7.1.	Deney Düzeneginin Tanıtılması	58
7.1.1.	Rüzgar odası	58
7.1.2.	Dağıtıcı elek	58
7.1.3.	Yanma Odası ve Serbest Bölge	59
7.2.	Yanma Ürünleri Analizleri	63
7.3.	Deneylelerin Yürütülmesi	64
8.	DEĞERLENDİRME	66
8.1	Deney şartlarında teorik yanma hesapları	66
8.2	Kirletici emisyonların incelenmesi	71
8.2.1	CO ₂ ve CO emisyonları	71
8.2.2	Kükürtoksit emisyonları	73
8.2.3	Azotoksit emisyonları	78
8.2.4	Oksijen konsantrasyonları ve teorik hava ihtiyaçları	81
8.3	Sıcaklık dağılımları ve aglomerasyon	87
8.3.1	Sıcaklık dağılımları	87
8.3.2	Linyit için aglomerasyon sıcaklığının belirlenmesi	95
9.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	105
	KAYNAKLAR	108
	EK 1 Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği	113
	EK 2 Teorik Hesaplamalara Ait Tablolar	122
	ÖZGEÇMİŞ	126

SİMGE LİSTESİ

C	Karbon (%)
$CO_{2_{max}}$	Stokiyometrik tam yanma durumundaki CO_2 konsantrasyonu (%)
H	Hidrojen (%)
N	Azot (%)
n	Hava fazlalık katsayısı
O	Oksijen (%)
Q_L	Linyit kütlesi (kg/h)
Q_{TS}	Tatlı-Sorgum kütlesi (kg/h)
S	Kükürt (%)
$S_{kül}$	Külde kükürt yüzdesi
S_{yanar}	Yanar kükürt (%)
$V_{CO_{2L}}$	Linyit yanması sonucu oluşan CO_2 emisyon hacmi (Nm^3/kg)
$V_{CO_{2TS}}$	TS yanması sonucu oluşan CO_2 emisyon hacmi (Nm^3/kg)
V_g	Gerçek özgül baca gazı hacmi (Nm^3/kg yakıt)
V_{go}	Teorik özgül baca gazı hacmi (Nm^3/kg yakıt)
V_h	Gerçek hava (Nm^3/h)
V_{h0}	Teorik özgül hava (Nm^3/h)
$V_{ho_{kr}}$	Linyit + Tatlı-Sorgum karışımı için teorik özgül hava
V_{ho_L}	Linyit için teorik özgül hava (Nm^3/kg linyit)
V_{ho_s}	Tatlı-Sorgum için teorik özgül hava (Nm^3/kg TS)
V_{H_2O}	H_2O emisyon hacmi (Nm^3/kg)
V_{N_2}	N_2 emisyon hacmi (Nm^3/kg)
V_{O_2}	O_2 emisyon hacmi (Nm^3/kg)
V_{SO_2}	SO_2 emisyon hacmi (Nm^3/kg)
W	Nem (%)
$Xn_{CO_{2L}}$	Baca gazı içindeki, linyit yanması sonucu oluşan, CO_2 konsantrasyonu (%)
$Xn_{CO_{2TS}}$	Baca gazı içindeki, TS yanması sonucu oluşan, CO_2 konsantrasyonu (%)
Xn_{H_2O}	Baca gazı içindeki H_2O konsantrasyonu (%)
Xn_{O_2}	Baca gazı içindeki O_2 konsantrasyonu (%)
Xn_{N_2}	Baca gazı içindeki N_2 konsantrasyonu (%)
Xn_{SO_2}	Baca gazı içindeki SO_2 konsantrasyonu (%)

ŞEKİL LİSTESİ**Sayfa**

Şekil 2.1	Birincil kaynaklara göre enerji üretim-tüketimi	9
Şekil 2.2	Birincil enerji kaynakları üretimi (1975-1992)	15
Şekil 2.3	Birincil enerji kaynakları tüketimi (1975-1992)	15
Şekil 2.4	Enerji arz-talep grafiği	16
Şekil 3.1.3.1	Tatlı-Sorgumdan Enerji Kullanımına Yönelik Olarak Elde Edilebilecek Ürünler	23
Şekil 3.4.1	Yakıt cinsinin yatak sıcaklığı dağılımına etkisi	35
Şekil 4.2.1	Yanma Odasının Genel Görünümü	41
Şekil 7.1.1	Deney düzeneği	60
Şekil 7.1.2	Akışkan yatağın temel parçaları	61
Şekil 8.1.1	Linyit ve linyit+TS karışımlarının yanmasında %O ₂ için teorik değerler	69
Şekil 8.1.2	Linyit ve linyit+TS karışımlarının yanmasında %CO ₂ için teorik değerler	69
Şekil 8.1.3	Linyit ve linyit+TS karışımlarının yanmasında %SO ₂ için teorik değerler	69
Şekil 8.1.4	Linyit ve linyit+TS karışımlarının yanmasında %N ₂ için teorik değerler	70
Şekil 8.1.5	Linyit ve linyit+TS karışımlarının yanmasında %H ₂ O için teorik değerler	70
Şekil 8.1.6	Linyit ve linyit+TS karışımlarının yanmasında teorik hava ihtiyaçları	70
Şekil 8.2.1.1	Orhaneli linyiti için teorik ve deneysel CO ₂ emisyonları	74
Şekil 8.2.1.2	% 5 TS ve % 95 linyit karışımı için teorik ve deneysel CO ₂ emisyonları	74
Şekil 8.2.1.3	% 10 TS ve % 90 linyit karışımı için teorik ve deneysel CO ₂ emisyonları	75
Şekil 8.2.1.4	% 15 TS ve % 85 linyit karışımı için teorik ve deneysel CO ₂ emisyonları	75
Şekil 8.2.1.5	Orhaneli linyiti için deneysel CO emisyonları	76
Şekil 8.2.1.6	% 5 TS ve % 95 linyit karışımı için deneysel CO emisyonları	76
Şekil 8.2.1.7	% 10 TS ve % 90 linyit karışımı için deneysel CO emisyonları	77
Şekil 8.2.1.8	% 15 TS ve % 85 linyit karışımı için deneysel CO emisyonları	77
Şekil 8.2.2.1	Orhaneli linyiti için teorik ve deneysel SO ₂ emisyonları	79
Şekil 8.2.2.2	% 5 TS ve % 95 linyit karışımı için teorik ve deneysel SO ₂ emisyonları	79
Şekil 8.2.2.3	% 10 TS ve % 90 linyit karışımı için teorik ve deneysel SO ₂ emisyonları	80
Şekil 8.2.2.4	% 15 TS ve % 85 linyit karışımı için teorik ve deneysel SO ₂ emisyonları	80
Şekil 8.2.3.1	Orhaneli linyiti için deneysel NO ve NO _x emisyonları	82
Şekil 8.2.3.2	% 5 TS ve % 95 linyit karışımı için deneysel NO ve NO _x emisyonları	82
Şekil 8.2.3.3	% 10 TS ve % 90 linyit karışımı için deneysel NO ve NO _x emisyonları	83
Şekil 8.2.3.4	% 15 TS ve % 85 linyit karışımı için deneysel NO ve NO _x emisyonları	83
Şekil 8.2.4.1	Orhaneli linyiti için teorik ve deneysel O ₂ emisyonları	85
Şekil 8.2.4.2	% 5 TS ve % 95 linyit karışımı için teorik ve deneysel O ₂ emisyonları	85
Şekil 8.2.4.3	% 10 TS ve % 90 linyit karışımı için teorik ve deneysel SO ₂ emisyonları	86
Şekil 8.2.4.4	% 15 TS ve % 85 linyit karışımı için teorik ve deneysel O ₂ emisyonları	86
Şekil 8.3.1.1	Orhaneli linyiti için deneysel sıcaklık dağılımı	89
Şekil 8.3.1.2	% 5 TS ve % 95 linyit karışımı için deneysel sıcaklık dağılımı	90
Şekil 8.3.1.3	% 10 TS ve % 90 linyit karışımı için deneysel sıcaklık dağılımı	91
Şekil 8.3.1.4	% 15 TS ve % 85 linyit karışımı için deneysel sıcaklık dağılımı	92
Şekil 8.3.1.5	T ₁ (25 mm) için karşılaştırmalı sıcaklık dağılımı	93
Şekil 8.3.1.6	T ₂ (65 mm) için karşılaştırmalı sıcaklık dağılımı	93
Şekil 8.3.1.7	T ₃ (110 mm) için karşılaştırmalı sıcaklık dağılımı	93
Şekil 8.3.1.8	T ₄ (185 mm) için karşılaştırmalı sıcaklık dağılımı	94
Şekil 8.3.1.9	T ₅ (450 mm) için karşılaştırmalı sıcaklık dağılımı	94
Şekil 8.3.1.10	T ₆ (1160 mm) için karşılaştırmalı sıcaklık dağılımı	94

Şekil 8.3.2.1	0,50-1,00 mm Orhaneli linyitinin aglomerasyon sıcaklık eğrisi	97
Şekil 8.3.2.2	1,00-2,00 mm Orhaneli linyitinin aglomerasyon sıcaklık eğrisi	98
Şekil 8.3.2.3	2,00-2,34 mm Orhaneli linyitinin aglomerasyon sıcaklık eğrisi	99
Şekil 8.3.2.4	Aglomerasyona uğramış linyit külü	100
Şekil 8.3.2.5	Aglomer olan linyit külü taneciği SEM-EDX görüntüsü	101
Şekil 8.3.2.6	Aglomer olan linyit külü taneciği genel yüzeyi	101
Şekil 8.3.2.7	Aglomer olan Tatlı-Sorgum külü	103
Şekil 8.3.2.8	Aglomer olan Tatlı-Sorgum külü SEM-EDX görüntüsü	103
Şekil 8.3.2.9a	Aglomer olan Tatlı-Sorgum külü kırılma yüzeyi detayı	104
Şekil 8.3.2.9b	Aglomer olan Tatlı-Sorgum külü kırılma yüzeyi detayı	104



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1	Dünya kömür rezervi (1995)	8
Tablo 2.2.	Türkiye linyit varlığı (1996 yılı itibariyle)	9
Tablo 2.3.	Büyük tüketici grupları itibariyle linyit tüketimi (BİN TON)	10
Tablo 2.4.	Türkiye linyit rezervleri (1993 yılı itibariyle) (BİN TON)	11
Tablo 2.5.	Bölgeler İtibariyle Türkiye Linyit Rezervleri (1993 Yılı İtibariyle)	12
Tablo 2.6.	Türk linyitlerinin alt ısı değere göre dağılımı (1993) (Bin Ton)	13
Tablo 2.7.	Türk linyitlerinin kül, nem ve kükürt içerikleri	14
Tablo 3.1.1	Yanabilir biyokütle cinsi yakıtlar	18
Tablo 3.1.2	Bazı biyokütle cinsi yakıtların karakteristik analizleri	19
Tablo 3.2.1.1	Sanayide kullanılan yakıtların fiyatlarının Tatlı-Sorgum ile karşılaştırılması.	25
Tablo 3.2.1.2	Tatlı-Sorgum türlerinin ve bazı tarım atıklarının yakıt özellikleri (Kuru bazda)	27
Tablo 3.3.3.1	Tatlı-Sorgum ile bazı linyit kömürlerinin CO ₂ ve SO ₂ emisyonları	31
Tablo 3.3.3.2	Tatlı-Sorgum ve bazı Türk linyitlerinin yakıt karakteristikleri	32
Tablo 3.4.1	Değişik yakıtların kütle ve hacimsel karşılaştırılması	33
Tablo 4.2.1	Yakma sistemleri arasındaki farklar	44
Tablo 5.2.1	Orhaneli Linyiti (1.00-2.00 mm arası) elementel analiz değerleri	50
Tablo 5.2.2.	Tatlı-Sorgum (0.5-1.00 mm arası) elementel analiz değerleri	51
Tablo 6.1.	Yanma denklemleri	52
Tablo 6.2.1.a	Linyit ve Tatlı-Sorgumun Yanması Sonucu Oluşan Baca Gazları.	55
Tablo 6.2.1.b	%15 Tatlı Sorgum + %85 linyit karışımı için hesaplanan yanma ürünleri	56
Tablo 7.1.1	Akışkan yatağın anma ölçüleri	62
Tablo 8.1.1	Orhaneli Linyitinin (1.00-2.00 mm arası) ASTM yerine 835°C'daki elementel analiz değerleri	67
Tablo 8.1.2	Tatlı Sorgumun (0.5-1.00 mm arası) ASTM yerine 835°C'daki elementel analiz değerleri	67
Tablo 8.1.3	Deney sonrasında yatak içi, alt siklon ve üst siklondan alınan kül numunelerine uygulanan analiz sonuçları	68
Tablo 8.2.1.1	Linyit ve linyit + Tatlı-Sorgum karışımları için hesaplanan CO _{2max} değerleri	72
Tablo 8.3.1.1	Deneysel sıcaklıkların ortalama değerleri ve farkları	88
Tablo 8.3.2.1	Orhaneli linyitinin özgül kül sıcaklıkları (°C)	96
Tablo 8.3.2.2	Orhaneli linyitinin aglomerasyon sıcaklıkları ve bunun özgül sıcaklıklarla farkı	100
Tablo 8.3.2.3	Tatlı-Sorgumun özgül kül sıcaklıkları (°C)	102
Tablo Ek-1	Çeşitli hava kirleticileri için, uyulması gereken uzun ve kısa vadeli değerler	117
Tablo Ek-2.1	CO ₂ emisyonu için teorik hesaplar	123
Tablo Ek-2.2	SO ₂ emisyonu için teorik hesaplar	123
Tablo Ek-2.3	Teorik hava ihtiyaçlarına ait değerler	124
Tablo Ek-2.4	Teorik oksijen konsantrasyonlarına ait değerler	124
Tablo Ek-2.5	Teorik N ₂ konsantrasyonlarına ait değerler	125
Tablo Ek-2.6	Teorik H ₂ O konsantrasyonlarına ait değerler	125

Önsöz ve Teşekkür

Her araştırma çabası, son noktası konulsa da –özellikle yazarının gözünde- ,birçok eksiklikleriyle çıkar ortaya. Ve hep bir kuşku vardır sürekli olarak araştırmacının gönlünde. “Acaba tasarladıklarımın tümünü yazabildim mi?” , “Şu ya da bu bölümü biraz daha genişletmem ya da kısaltmam gerekmezmiydi?” ...ve daha nice sorular.

Aslında bilimin kökeninde de sorular, kuşkular ve bunlara kesin karşılıklar almanın o dayanılmaz özlemi yok mudur?

Bu nedenle, sumulan çalışmada görülebilecek eksikliklerin hoşgörü ile karşılanması ve sonradan başvuru kaynağı olarak seçecekleri yanılmaması için gerekli düzeltmelerin yapılması yönündeki uyarılar, bundan sonraki araştırma çabalarım ışık tutacaktır.

Bu araştırmanın sonuçlandırılmasında doğrudan ve dolaylı katkıları nedeniyle,

Özellikle,

*Tüm yoğun çalışmalarına rağmen tez danışmanlığı görevini özveriyle üstlenen ve hoşgörülü yaklaşımıyla çalışmanın sağlıklı bir şekilde yürütülmesini sağlayan sayın **Prof.Dr.Hasan A.HEPERKAN**'a,*

*Bu çalışmanın dayanağı olan ve TÜBİTAK-MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü (ESÇAE) bünyesinde yürütülen “Biyokütleden Enerji Eldesi” konulu proje kapsamında, çalışmalarıma adı geçen Enstitü laboratuvarlarında başlamama olanak veren Enerji bölümü eski başkanı sayın **DoçDr. İ.Engin TÜRE**'ye, daha sonraki dönemlerde çalışmalarımın devam edebilmem konusuna hoşgörü ile yaklaşan ve yardımlarını esirgemeyen ESÇAE-Enerji Grup Başkanı sayın **Doç.Dr. Mustafa TIRIS**'a,*

*Deneysel ve teorik çalışmalarım sırasında, bilimsel yardımlaşmanın anlamlı bir örneğini gösteren, büyük bir sabır ile bana yardımcı olan, proje yürütücüsü sayın **Davut UZUN**'a; ESÇAE-Yakıt Analiz Laboratuvarında, analizlerime yardımcı olan teknisyen arkadaşlarım sayın **İbrahim KURTDERE** ve **Zeliş DEMİRDAG**'a; bilgisayar ile ilgili her sorunumda bana yardımcı olan, kimi zamanda gitarı ve buğulu sesiyle bizleri rahatlatan araştırmacı sayın **Dr.Müh. Ferdi TÜRKSOY**'a; yine aynı bölümde çalışan araştırmacı arkadaşlarım sayın **Azmi Yazar**, **Derya GÖBELEK** ve **Mete SÖHMEN** şahsında, tüm bölüm araştırmacı ve teknisyenlerine;*

Çalışmalarıma yol göstererek ışık tutan değerli insan sayın

Prof.Dr. Mahir ARIKOL'a, sayın Prof.Dr. Hüsnü ATAKÜL'e ve sayın Prof.Dr. Sibel ÖZDOĞAN'a,

Özenli bir çalışmayı gerektiren deneysel ölçümlerim sırasında özveriyle benimle birlikte tüm olumsuzluklara katlanan, laboratuvar çalışmalarında her zaman yanımda olup tüm teknik sorunlarda bana yardımcı olan, tüm tehlikelere benimle birlikte göğüs geren teknisyen arkadaşım sayın Hüseyin GÜRKAN'a;

Kaynak tarama sürecinde, çalışmalarım sırasında her zaman yardıma koşan, iyilik timsali insan Mak.Yük.Müh. sayın Yücel ERDALLI'ya,

Enerji bölümüne adım attığım ilk günden bu yana, her türlü yardıma koşan, çalışmamın yazımı sırasında o şirin ellerini benim için yoran, hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, dostluğunu hiçbir şeye değişmeyeceğim canım arkadaşım, eşimin "Çılgın Baldızı" sevgili Aynur DEMİRTAŞ'a,

Çalışma boyunca yapıcı eleştirilerini ve yardımlarını esirgemeyen sayın Doç.Dr. Dürriye BİLGE'ye,

Anlayışları ile bana destek olan, çalışmalarımı tamamlamama fırsat veren Anabilim Dalı Başkanımız değerli hocam sayın Prof.Dr. Doğan ÖZGÜR'e ve tüm hocalarıma; sayın Barbaros BATUR şahsında tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma,

Deneysel çalışmalarına TÜBİTAK'ta başlayabilmem için beni destekleyen ve araştırma görevliliğim sırasında gerekli izni veren Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü eski müdürü sayın Prof.Dr. Süheyla UZMAN'a,

Lisansüstü öğrenciliğim süresince hiç bir yardımı esirgemeyen, Fen Bilimleri Enstitüsü eski sekreteri sayın Bilgin CİMİLLİ'ye, sayın Naime YURTSEVEN şahsında tüm Enstitü çalışanlarına,

Çözümüne kavuşturmakta zorlandığım sorunlar karşısında, anlayışlı yaklaşımları ve akılcı tutumlarıyla her zaman yanımda olan değerli DOSTLARIMA,

Bugünlere ulaşmam için maddi ve manevi hiç bir fedakarlıktan kaçınmayan sevgili ANNE'me ve tüm aileme,

Karşılaştığım güçlüklerin aşılmasında verdiği onurlu destek ve oldukça uzun süren bu çalışma süresince gösterdikleri sabır ve anlayış için sevgili EŞİME ve birtanecik KIZIMA

Teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Bu çalışmada, düşük kaliteli linyitlerimizden optimum şekilde yararlanmanın yolu olan akışkan yataklı yakma (AYY) sisteminde, tipik bir Türk linyiti olan Orhaneli linyiti + Tatlı-Sorgum karışımının yakılması sonucu oluşan kirletici emisyonlar incelenmiş; diğer yandan AYY sistemlerinin zaten mevcut avantajları daha da geliştirilerek, sera etkisini azaltmak ve bu enerji üretim teknolojisi kısmen yenilenebilir hale getirilmek amaçlanmıştır.

Batı standartlarına göre linyit sınıfına bile zorla giren kömürlerimizin, ısı değeri düşük, buna karşılık kirletici özellikleri yüksektir. Bu tip kömürlerden optimum şekilde yararlanmanın yolu AYY sistemlerinin kullanılmasıdır. Bu sistemlerde 850°C civarında meydana gelen yanma sırasında NO_x oluşumu çok az olmakta, yatağa kireçtaşı beslenerek, oluşan SO₂ tutulabilmektedir. Ancak, hidrokarbonlu fosil yakıtlarda yanmanın kaçınılmaz ürünü olan CO₂ oluşumu ve sera etkisi önlenememektedir.

Biyokütle ise, oluşumu sırasında havadaki CO₂'yi tüketmesi bakımından ilginç bir yakıttır. Karbondioksit dengesi geniş anlamda düşünüldüğünde, bu yolla enerji üretimi sırasında atmosfere CO₂ ilave edilmemekte, doğal denge bozulmamaktadır. Ayrıca biyokütle ekilmek suretiyle kısa sürede yeniden üretilbildiği için yenilenebilir bir enerji kaynağı alternatifi sunmaktadır.

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde üretilen Tatlı-Sorgum bitkisi akışkan yataklı yakmaya uygun hale getirilerek belirli oranlarda kömüre katılmış ve sistemde yakılmıştır.

Orhaneli linyiti ve Tatlı-Sorgum'un analizlerinden hareketle yataktan alınan ısı gücü sabit olacak şekilde yakıt besleme oranları tespit edilmiştir. Linyite Tatlı-Sorgum karıştırılması suretiyle kirletici emisyonların azalacağı düşünülmüş ve teorik hesaplamalar sonucu, bu teori doğrulanmıştır. Tatlı-Sorgum oranı arttıkça, biyokütle bünyesinde mevcut oksijen nedeniyle teorik hava ihtiyacı azalmış, kirletici emisyon miktarlarında düşüş kaydedilmiştir. Daha sonra bu hesaplamalarla ilgili deneysel çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. Deneylere, yatağa önce tamamen linyit beslenerek başlanmış, artan oranlarda Tatlı-Sorgum + linyit karışımları beslenerek devam edilmiştir.

Deneylerde elde edilen sonuçları genelleştirerek AYY sisteminin parametreleri saptanmıştır. Linyit ve karışımların yakılması sonucu oluşan sıcaklık dağılımları ile aglomerasyon sıcaklığı tespit edilmiştir.

ABSTRACT

One of the best technologies used in the optimum utilization of low rank lignites is the fluidized bed combustion system. This study deals with the pollutants originating from the combustion of a typical Turkish lignites, Orhaneli, together with Sweet-Sorghum, aiming to broaden the already known advantages of the fluidized bed technology by reducing the greenhouse effect and partially converting the combustion system to a renewable one.

Turkish lignites have a low calorific value and show high air pollution characteristics which puts them out of the lignite category according to western standards. The way to utilise these lignites optimally is to use fluidized bed combustion systems. This system reduces NO_x emissions by burning the coal around 850°C and eliminates SO_2 by absorbing it with limestone fed into the combustor. On the other hand greenhouse effect remains, unavoidably.

Biomass consumes the CO_2 in the atmosphere during its growth. When viewed globally, the natural balance of the atmosphere remains unchanged during the energy production using biomass. More over since biomass can be produced by cultivation, it can be considered as a renewable energy source.

The Sweet-Sorghum plant (biomass) grown at TÜBİTAK Marmara Research Center was conditioned and processed to be used in the fluidized bed combustor together with coal.

The fuel feeding ratio (coal/biomass) was set such that the thermal output of the system remained constant. Addition of Sweet-Sorghum to the lignite was considered to reduce the pollutant concentration. The theoretical analysis supported this fact. The theoretical air consumption was reduced due to the oxygen present in the biomass as well as the polluting components in the flue gas. The results were supported by experimental results. The bed was initially operated using Orhaneli lignite and then using increasing ratios of Sweet-Sorghum.

Operating parameters of the fluidized bed combustion system have been determined using the experimental results. Moreover temperature distributions in the bed and in the free board region have been established together with the agglomeration temperature of the fuel.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması çeşitli sorunlarla birlikte enerji ihtiyacının karşılanması problemini de gündeme getirmiştir. Günümüzde, sanayileşme ve kalkınmanın en önemli girdileri arasında yer alan enerji, bütün dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de önemini ve güncelliğini sürdürmektedir. Enerji kullanımı, endüstrileşme ve ekonomik gelişme ile yakından ilgili olup, enerji tüketimi, refah seviyesinin yükselmesiyle hızla artmaktadır. Dolayısıyla yakıt tüketimi hızlı bir biçimde artmakta, bu ise iyi kaliteli yakıtların hızla tükenmesine, düşük kaliteli yakıtların ise enerji dengesindeki payının artmasına neden olmaktadır. Ülkemizde de hızla artan enerji talebinin karşılanması zor olup, enerji kaynağının seçiminde dikkatli olunması gerekmektedir. Dünya üzerindeki enerji kaynaklarını tükenen ve tükenmeyen kaynaklar diye iki bölüme ayırmak mümkündür. Tükenen kaynaklar arasında; kömür, petrol, doğal gaz, jeotermal enerji, bitümlü ve petrolü şistler, asfaltit, odun, uranyum ile toryum yatakları sayılabilir. Hidroenerji, güneş enerjisi, rüzgar ile dalga enerjisi, biyokütle, füzyon enerjisi, elektromagnetik enerji ve çöplerden sağlanan enerji ise tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Sanayileşme ve teknolojik gelişmelerde büyük payı olan kömür, çevreyi kirletmesi ve alternatif enerji kaynaklarının yaygınlaşması yüzünden son yıllarda gözden düşmektedir. Ancak rezervlerin bolluğu ve elektrik üretmek amacı ile az gelişmiş ülkelerin kullanabilecekleri tek yakıt olmasından dolayı gelecekte yine ilk plana geçecektir.

Türkiye'nin yıllık birincil enerji ihtiyacı 63 milyon ton eşdeğer petroldür. 2010 yılına kadar bu ihtiyacın enaz üç kat artacağı tahmin edilmektedir. Yurdumuzda kullanılan enerjinin % 55 gibi önemli bir bölümü konut ve sanayi sektöründe tüketilmektedir. Gelecek 20 yıl içerisinde sanayi sektöründeki hızlı gelişmeye paralel olarak bu oranın daha da artması beklenmektedir. Bu nedenle Türkiye kendi özkaynaklarına yönelmek zorundadır. Ülkemizin en önemli birincil enerji kaynağı linyitler olmasına karşın, Türk linyitlerinin kalitesi düşük olup, kirletici özellikleri (özellikle kül ve kükürt miktarı) oldukça yüksektir. Türk linyitleri hakkındaki temel bilgiler, tüm ayrıntıları ile Bölüm 2'de anlatılmaktadır.

Bir yandan toplam yakıt tüketiminin, diğer yandan düşük kaliteli kömürün toplam tüketimdeki payının hızlı bir şekilde artması, yakma sistemlerinin ekonomik boyutunun yanı sıra, çevresel etki boyutunun da dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle her devlet hava, su ve toprak kirliliğinin kontrolü için, kendi sosyal ve ekonomik yapısı ve

teknoloji düzeyine en uygun, yasal düzenlemeler yapmaktadır. Örneğin, Ülkemizde de 2 Kasım 1986 tarihinde yayımlanan "Hava Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği (1986)" ile yakma sistemlerine emisyon sınırlamaları getirilmiştir (Ek-1). Enerji tüketiminin yarattığı ve ileride yaratabileceği kirlilik konusu, bütün dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemiz enerji dünyası gündemine de girmiş bulunmaktadır.

Türkiye geliştirmekte olan bir ülkedir. Gelişmesini sürdürebilmesi için ihtiyacı olan enerjiyi zamanında, yeterli miktarda, ekonomik koşullarda ve çevreye zarar vermeden temin edip kullanması gerekmektedir. Ülkemiz enerji yönünden incelendiğinde dışa bağımlı ülkeler arasında yer almaktadır. Enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açığın gelecek yıllarda artarak devam etmesi beklenmektedir. Bugünkü şartlarda birincil enerji kaynaklarından elde edilen enerji üretiminin ülkemiz tüketimini karşılayamaması nedeniyle, ham petrol 1961 yılından, taşkömürü 1973 yılından, doğal gaz da 1987 yılından beri ithal edilmektedir (Aybar, 1990). Böylece ülkemizin enerji gelirinin yaklaşık yarısı enerji kaynaklarına gitmektedir. Özellikle son yıllarda enerji üretimi bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Günümüzde kullanılmakta olan birincil enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olması, enerji gereksiniminin karşılanmasında bir seçenekde yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak görülmektedir.

Enerji kaynaklarının tükenmekte oluşunun bilincine varılması ile birçok ülkede alternatif enerji kaynağı bulmaya yönelik çalışmalar yoğunlaşmış, kimi ülkeler de petrol tüketimlerini azaltmak için çeşitli önlemler almaya yönelmişlerdir. Alternatif enerji konusunda da yapılan araştırmalar, ülkelerin kendi potansiyellerini bilerek ve yerli kaynaklara dayanarak enerji üretimi yapmaları gereğini göstermiştir. Bu durumda, özellikle geliştirmekte ve tarım alanları büyük olan ülkeler için, tarım ürünlerinden enerji üretimi tekrar gündeme gelmiştir. Birçok ülke bugün kendi ekolojik şartlarına göre en uygun ve en ekonomik tarımsal ürünlerden alternatif enerji kaynağı olarak yararlanmaktadır. Türkiye de bu potansiyele sahip ülkelerdendir.

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle önemli bir potansiyele sahiptir. Biyokütlenin dünyadaki yıllık üretiminin 10^{11} - 10^{12} ton olduğu tahmin edilmektedir (Stout, 1983). Genel olarak biyokütle, kolay elde edilebilen bir enerji kaynağıdır. Özellikle enerji

kaynaklarının kıt ve tarımın ağırlık taşıdığı ülkelerde önem kazanmaktadır. Biyokütle kaynağı olarak tarımsal atıkların, özellikle bitkisel üretimde elde edilen yan ürünlerin kullanılabilirliği araştırılmaktadır.

Dünya enerji tüketiminin % 15'i, gelişmekte olan ülkelerde ise enerji tüketiminin yaklaşık % 43'ü biyokütleden sağlanmaktadır (Jones, 1989). Biyokütle kaynaklı enerji üretimi, ekilebilir alanların fazla ve iklim şartlarının uygun olması nedeniyle Türkiye için büyük önem taşımaktadır. Biyokütle kaynaklı yakıtların, CO₂ ve SO₂ baz alındığında, kirletici etkisi linyitlere oranla çok düşüktür. Çalışmamızda, biyokütle ile ilgili ayrıntılı bilgiler Bölüm 3'de anlatılmıştır.

Türkiye, enerji darboğazından kurtulmak için kendi özkaynaklarından faydalanmanın yanında yeni alternatif enerji kaynakları da üretmek zorundadır. Batı standartlarına göre linyit sınıfına bile zorla giren kömürlerimizin, yukarıda da bahsettiğimiz gibi, ısı değeri düşük, buna karşılık kirletici özellikleri yüksektir. Bu tip kömürlerden optimum şekilde yararlanmanın yolu 4.Bölümde de bahsedildiği gibi, akışkan yataklı yakma (AYY) sistemlerinin kullanılmasıdır. Bu sistemlerde, 850°C civarında meydana gelen yanma sırasında NO_x oluşumu çok az olmakta, yatağa kireçtaşı beslenerek, oluşan SO₂ tutulabilmektedir. Ancak, hidrokarbonlu fosil yakıtlarda yanmanın kaçınılmaz ürünü olan CO₂ oluşumu ve sera etkisi önlenememektedir.

Biyokütle, oluşumu sırasında havadaki CO₂ 'yi tüketmesi bakımından ilginç bir yakıttır. Karbondioksit dengesi geniş anlamda düşünüldüğünde, bu yolla enerji üretimi sırasında atmosfere CO₂ ilave edilmemekte, doğal denge bozulmamaktadır. Ayrıca biyokütle ekilmek suretiyle kısa sürede yeniden üretilbildiği için yenilenebilir bir enerji kaynağı alternatifi sunmaktadır.

Bu çalışmada, AYY sistemlerinin zaten mevcut avantajlarını daha da geliştirmek, sera etkisini azaltmak ve bu enerji üretim teknolojisini kısmen yenilenebilir hale getirmek amacıyla, tipik bir Türk linyiti olan Orhaneli linyiti ve Tatlı-Sorgum karışımlarının yakılması sonucu oluşan emisyonlar incelenmeye çalışılmıştır.

Enerji kaynaklarını çevre üzerindeki etkilerinden bağımsız olarak ele almak mümkün değildir.

Özellikle kömür ve linyit gibi fosil yakıtların yanması sonucu oluşan CO_2 , SO_2 , NO_x emisyonları, atmosferik kirliliğin artmasında birinci derecede etkilendirler. Endüstriyel faaliyetler sonucunda, her yıl atmosfere yaklaşık 20 milyar ton CO_2 , 100 milyon ton kükürt bileşikleri, 2 milyon ton kurşun ve diğer zehirli kimyasal bileşikler salınmaktadır (Kadıoğlu ve Tellioğlu, 1996). CO_2 ve SO_2 emisyonları doğrudan doğruya tüketilen enerjinin miktarı ile orantılıyken, NO_x , CO ve diğer uçucuların yarattığı emisyon seviyeleri ise kullanılan teknolojiye bağlıdır. Çalışmamızda, linyit yanması sonucu oluşan bu olumsuz etkilerin, yakma sisteminden alınacak ısı gücü sabit olacak şekilde, linyit yerine belli oranlarda Tatlı-Sorgum eklenerek azaltılması düşünülmüştür. Bu amaçla, yataktan alınacak güç yaklaşık 10.000 kcal/h olacak şekilde linyit yakılması ve daha sonra % 5, 10 ve 15 oranlarında Tatlı-Sorgum eklenerek oluşturulan karışımların yakılması ile ilgili teorik hesaplamalar 6.Bölümde yapılarak kirletici emisyonlar incelenmeye çalışılmıştır. Söz konusu yakıt numunelerinin hazırlanması ve analizleri ile ilgili ayrıntılar, 5.Bölümde anlatılmıştır. Daha sonra, teorik olarak hesaplanan bu değerler ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmalarımızda kullandığımız Tatlı-Sorgum bitkisi, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde üretilmiş olup, AYY sisteminde yakılmaya uygun hale getirilerek belirli oranlarda linyite katılmış ve sistemde yakılmaya çalışılmıştır. Linyit olarak kirletici özellikleri yönünden tipik bir Türk linyiti olan Orhaneli linyiti seçilmiştir. Rezerv açısından önemli bir kaynak olan ve halen çalışan bir santralde kullanılan bu kömürün yakılması sonucu oluşan emisyonlar ölçümlerle tespit edilmiştir. İlk olarak Orhaneli linyiti ve Tatlı-Sorgum'un analizlerinden hareketle yakıt besleme oranları tespit edilmiştir. Deneylere, yatağa önce tamamen kömür beslenerek başlanmış, daha sonra artan oranlarda Tatlı-Sorgum beslenerek devam edilmiştir.

Deneylerde elde edilen sonuçları genelleştirerek AYY sisteminin parametrelerini saptayabilmek ve serbest bölge tasarımı yapabilmek için bir model geliştirilmesi planlanmıştır.

Deneylerin yürütülmesi ve deney düzeneği ile ilgili ayrıntılar 7.Bölümde anlatılmıştır. Burada da bahsedildiği gibi, deneyler sırasında, düşük yoğunluklu ve lifli bir bitki olması nedeniyle, Tatlı-Sorgum beslemesinde sorunlarla karşılaşmıştır. Yapılan literatür araştırmasında da benzer sorunlardan bahsedilmektedir (Unanimous-5, 1993). Son aşamada, Tatlı-Sorgum ve

linyit çeşitli oranlarda bir ön karışıma tabi tutulduktan sonra tek bir depodan sonsuz vidalı besleme düzeneği kullanılarak yatağa beslenebilmiştir. Ancak, bu yöntem en fazla % 15 Tatlı-Sorgum, % 85 linyit karışımı için denenebilmiştir. Daha yüksek oranlarda Tatlı-Sorgum eklenmeye çalışıldığında, sonsuz vida içindeki sıkışma tekrar gündeme gelmiştir. Bu yüzden, Tatlı-Sorgumun yüksek oranlarda katıldığı karışımlar için, besleme düzeneğinin yeniden tasarlanması gerektiği görüşüne varılmıştır.

Kirletici emisyon konsantrasyonları ile ilgili teorik hesaplamalar yapılırken kullanılan elementel ve kısa analiz değerleri, Bölüm 5.2’de bahsedildiği gibi, ASTM standartlarına göre yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir. Bu standartlardaki kül analizi 750 °C’de yapılmış olup, yanar kükürdün belirlenmesinde kullanılan küldeki kükürt miktarı da, 750 °C’de elde edilen külde belirlenmiştir. Ancak, yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, yatak içindeki yanma sıcaklığının ortalama olarak 835 °C olduğu saptanmıştır (Bölüm 8.3). Bundan dolayı teorik hesaplamaların değişebileceği düşünülerek, yakma şartları için kül ve külde kükürt tainleri linyit ve Tatlı-Sorgum için yinlendiğinde, sözkonusu değerlerde ASTM standartlarında ki değerlere göre artış olduğu görülmüştür. Buna dayanarak tekrar edilen teorik hesaplamalar ve ayrıntıları Bölüm 8.1’de anlatılmıştır.

CO₂ dengesi geniş anlamda düşünüldüğünde, Tatlı-Sorgum yakılması ile enerji üretimi sırasında, atmosfere CO₂ ilave edilmemekte, doğal denge bozulmamaktadır. Dolayısıyla, bu düşünceden yola çıkarak, linyit + Tatlı-Sorgum yanması sonucunda oluşan CO₂ konsantrasyonlarında, linyit yanması sonucu oluşan CO₂ konsantrasyonlarına göre bir azalma olduğu belirlenmiştir. CO emisyonu açısından olayı incelediğimiz zaman, söz konusu emisyonun % 0,1-0,5 arasında olduğu görülmüştür (Bölüm 8.2.1).

Kükürt oksit emisyonları ise, Bölüm 8.2.2’de incelenmiştir. Bilindiği gibi, SO₂ yayını yakıtın yapısındaki kükürt miktarı ile orantılıdır. İnsan sağlığı ve doğal denge açısından SO₂ yayınının bir üst sınırı vardır. Bunun üzerindeki değerlere çıkıldığında toplu ölümlere varan durumlarla karşılaşılabilir. Çalışmamızda, kükürt oranı linyite göre oldukça düşük olan Tatlı-Sorgumun linyit ile karıştırılması sonucunda, oluşacak SO₂ konsantrasyonunun azalacağı düşünülmüş ve teorik hesaplamalar sonucunda bu görüş doğrulanmıştır. Deneysel çalışmalarımızda da aynı sonuca rastlanmıştır.

Azot oksitleride su ile tepkimeye girerek asit oluştururlar. Bu oksitlerin atmosferde kalma süreleri yaklaşık bir haftadır; büyük bir kısmı asit veya nitratlar halinde çökerek kirliliğe neden olur. Bu emisyonlar açısından olay incelendiğinde, linyit + Tatlı-Sorgum yakılması sonucunda oluşan azotoksit emisyonlarında, linyit yakılması sonucu oluşan azotoksit miktarlarına göre bir miktar artış gözlemlenmektedir. Bu artış, yatak içindeki sıcaklıkların oynamasından kaynaklanmasına rağmen, ihmal edilebilecek kadar küçüktür (yaklaşık 20-30 ppm). Dolayısı ile, linyit ve linyit + Tatlı-Sorgum karışımlarının yanması sonucu oluşan azotoksitler karşılaştırıldığında, olumsuz bir etki görülmemektedir (Bölüm 8.2.3).

Bilindiğı gibi, yakma sistemleri için en önemli parametrelerden biride teorik özgül hava miktarı ve hava fazlalık katsayısıdır. Yakma sistemlerinde yanma için gerekli oksijenin kaynağı havadır. Hava, oksijen, azot ve az miktarda subuharı, karbondioksit, argon ve diğerelemanların karışımı olmakla beraber, yanma olayında hacimsel olarak %21 oksijen, %79 azot olarak kabul edilir.

İdeal durumda yanma olayı, oksijen ve yakıt elemanlarının teoride istenen tam oranlarda (stokiometrik oran) karıştırılması ile meydana gelir. Ancak bir yakma sistemini fazladan oksijen göndermeksizin teorik seviyede oksijenle istenilen biçimde çalıştırmak mümkün değildir. Pratikte iyi yanma şartlarına, atmosferden alınan fazla hava şeklinde, sisteme fazladan oksijen beslenmesi ile ulaşılır. Bu fazla hava miktarı yakıtın ve yakma elemanlarının cinsine göre değişir.

6 ve 8.1 nolu bölümlerde bahsedilen yanma hesaplarındaki yanma reaksiyonu denklemlerinde teorik oksijen ihtiyacı esas alınmıştır. Bu bölümlerde hesaplanan v_{h0} hava miktarı, teorik bir değerdir. Pratikte ise, yukarıda da bahsettiğimiz gibi, yanma için gerekli havayı, bu değerden daha fazla göndermek gerekmektedir. Ticari amaçlı AYY sistemlerinde, hava fazlalık katsayısı % 5-10 arasındadır. Ancak deney setimizin boyutları itibariyle, yoğunluğu yüksek olan olan kuvarz kumunu akışkanlaştırmak için gereken minimum akışkanlaşma hızını elde edebilmek için, çalışmalarımızda %20 fazla hava ile deneylerimizi sürdürmeye çalıştık.

Yakma sistemlerinde ocak boyutlarının hesaplanmasında, teorik hava ihtiyacı ve hava fazlalık katsayısı oldukça önemli bir parametredir. Sisteme beslenecek olan hava debisinin ocak boyutlarını etkilediğı bilinmektedir. Linyit yerine Tatlı-Sorgum kullanılan karışım oranları

için, teorik hava ihtiyacı miktarı düşmektedir. Bunun en önemli nedeni, Tatlı-Sorgumun içerdiği oksijen miktarıdır (Bölüm 8.2.4).

AYY sistemleri dizaynında, parametrelerin belirlenmesi için yatak içi ve serbest bölge sıcaklık dağılımları ile aglomerasyon sıcaklıklarının bilinmesi gerekmektedir. 8.3 nolu bölümde, bu dağılımlar ile aglomerasyon sıcaklığı belirlenmesine yönelik çalışmalar anlatılmıştır.

Linyit yanması sırasında daha homojen ve kararlı bir sıcaklık eğrisi oluşurken, karışımların yanması sırasında kararsız bir sıcaklık dağılımı meydana gelmiştir. Burada en büyük etken, linyit beslemesi sırasında homojen bir besleme sağlanabilirken, karışımların beslenmesi sırasında aynı homojenliğin sağlanamamasıdır. Böylece, linyit + Tatlı-Sorgum karışımlarının yakılması için özel bir besleme sistemi dizaynının gerekliliği birkez daha vurgulanmaktadır.

Karışımların yanması sırasında, Tatlı-Sorgum karışım oranı arttıkça, yatak üstü ve serbest bölge sıcaklıklarında artış kaydedilmektedir. Bunun başlıca sebebi, Tatlı-Sorgumun oldukça hafif bir bitki olması ve yanma esnasında, akışkanlaştırma havasının da etkisiyle taşınması ve serbest bölge içinde yanmayı sürdürmesidir.

Bu sürüklenmenin sonucunda oluşan sıcaklık artışı, AYY sistemlerinin dizaynında, ısı değiştirgeçlerinin yerleşim yerleri için bir fikir vermektedir.

Sonuç olarak, Tatlı-Sorgumun çeşitli özellikleri sayesinde, linyitin kirletici emisyonlarını büyük ölçüde azalttığı, AYY sistemi parametrelerini etkilediği belirlenmiştir. Böylece, sözkonusu yakma sistemi ile enerji üretim teknolojisi kısmen yenilenebilir hale getirilebilmiştir.

2. TÜRK LİNYİTLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Kömür rezervleri; bitümlü kömürler (antrasit ve taşkömür), alt bitümlü kömürler (yarı taşkömür) ve linyit olarak sınıflandırılmış olup, ülkelere göre dağılımı Tablo 2.1'de verilmiştir (Enerji İstatistikleri, 1997). Bu tablodanda görüleceği gibi; Türkiye, Avrupa kömür rezervinin % 6,02'sini, dünya rezervinin ise % 0,93'ünü oluşturmaktadır. Tablo 2.2'de ise 1996 yılı itibariyle Türkiye linyit varlığı görülmektedir (Enerji İstatistikleri, 1997).

Tablo 2.1 Dünya kömür rezervi (1995)

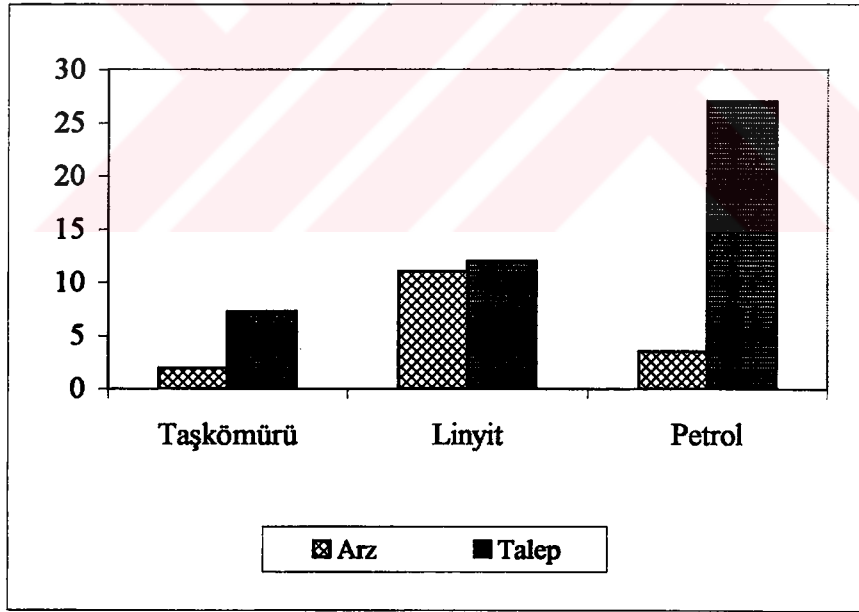
(MİLYON TON)

ÜLKELER	Bitümlü Kömür	Alt Bitümlü ve Linyit Kömürü	Toplam
Kuzey Amerika	111.864	138.528	250.392
Orta Amerika	5.649	4.548	10.197
Bağ.Devletler Topluluğu	104.000	137.000	241.000
Afrika ve Orta Doğu	60.598	1.267	61.865
Asya ve Avustralya	178.187	133.303	311.490
Avrupa (Türkiye)	60.025 (1.126)	99.077 (8.457)	159.102 (9.583)
DÜNYA TOPLAMI	520.323	513.723	1.034.046

Tablo 2.2. Türkiye linyit varlığı (1996 yılı itibariyle)

REZERV	(BİN TON)
Görünür	7.339.046
Muhtemel	625.936
Mümkün	110.014
Toplam	8.074.996
Belirlenmiş kaynak	156.876
Potansiyel kaynak	142.500
Genel Toplam	8.374.372
İşletilebilir rezerv	3.907.958

Ülkemizde; taşkömürü, linyit, asfaltit, petrol, doğalgaz, hidrolik, jeotermal, odun, hayvan ve bitki artıkları gibi birincil enerji kaynakları ile elektrik enerjisi, kok, briket gibi ikincil enerji kaynakları üretilmekte ve tüketime sunulmaktadır (Özil vd., 1993).



Şekil 2.1. Birincil kaynaklara göre enerji üretim-tüketimi

Tablo 2.3. Büyük tüketici grupları itibarıyla linyit tüketimi (BİN TON)

TÜKETİCİLER	1975	1980	1985	1990	1995	1996
Enerji Sektörü						
Elektrik santr.	2.463	6.032	19.835	29.884	39.815	42.441
İç tüketim			172	233	168	4.181
Briket Fab.	13	20	31	35	2	2
Toplam	2.476	6.052	20.038	30.152	39.985	46.624
Sanayi Sektörü						
Gübre	787	582	379	509	124	68
Çimento	485	772	2.040	1.980	1.549	1.503
Şeker	539	548	503	1.425	835	998
Diğer sanayi	982	1.583	2.576	4.556	3.387	2.964
Toplam	2.793	3.485	5.498	8.470	5.895	5.533
Ulaştırma	97	125	62	22	0	2
Konut	3.607	5.581	9.169	7.247	6.407	6.683
TOPLAM	8.973	15.243	34.767	45.891	52.287	58.842

Ülkemizin hemen hemen bütün bölgelerinde bulunan zengin linyit rezervleri yerli kaynaklarımız içerisinde önemli bir yere sahiptir (Tablo 2.4 ve Tablo 2.5) (MTA, 1993).

Birincil kaynaklara göre üretim ve tüketim grafiği Şekil 2.1'de (Enerji İstatistikleri, 1997), tüketici grupları itibarıyla linyit tüketimi ise Tablo 2.3'de görülmektedir.

Tablo 2.4. Türkiye linyit rezervleri (1993 yılı itibariyle) (BİN TON)

SAHA ADI	GÖRÜNÜR REZERV	MUHTEMEL REZERV	MÜMKÜN REZERV	TOPLAM REZERV	İŞLETİLEB. REZERV
Ankara-Beypazarı	391.479			391.479	236.000
Adana-Tufanbeyli	284.247	50.234		334.481	
Bolu Bölgesi	74.594	53.472	14.690	142.756	
Bursa Bölgesi	99.585	23.046	7.806	130.437	68.500
Çanakkale-Çan	86.887			86.887	73.700
Çankırı-Orta	123.165			123.165	108.329
Konya Bölgesi	241.421	96.371		337.792	124.527
Kütahya-Seyitömer	198.666			198.666	
Kütahya-Tunçbilek	270.850	46.882		317.732	217.263
Kütahya-Gediz-Ayçatı	145	12.300	11.500	23.945	
Manisa-Soma	429.380	45.226	32.794	507.400	99.824
Manisa-Deniş	152.139			152.139	134.446
K.Maraş-Elbistan	3.357.340			3.357.340	2.115.000
Muğla-Ekizk.-Sekköy	174.660			174.660	114.154
Muğla-Hüsamilar	88.846			88.846	79.961
Muğla-Eskihisar	100.280			100.280	84.400
Muğla-Tınaz-Bağyaka	53.649			53.649	46.400
Muğla-Bayır-Turgut	179.063	60.000		239.063	
Muğla-Karahisar- Alak.Çak.	111.482			111.482	69.106
Sivas-Kangal-Etyemez -Kalburçay-Hamal	202.607			202.607	126.000
Diğer Sahalar	718.561	238.405	43.224	1.299.566	210.348
TOPLAM	7.339.046	625.936	110.014	8.374.372	3.907.958

Tablo 2.5. Bölgeler itibarıyla Türkiye linyit rezervleri (1993 yılı itibarıyla)

(BİN TON)

BÖLGELER	KAYNAK	POTANSİYEL	GÖRÜNÜR REZERV	MUHTEMEL REZERV	MÜMKÜN REZERV	TOPLAM REZERV	GENEL TOPLAM
MARMARA	123,876		519,694	173,454	7,806	700,954	824,830
KARADENİZ		2,500	109,278	88,902	14,690	212,870	215,370
İÇ ANADOLU		140,000	1,071,033	102,273	11,558	1,184,864	1,324,864
GÜNEYDOĞU ANADOLU			53,094			53,094	53,094
EGE			1,775,110	183,623	54,918	2,013,651	2,013,651
DOĞU ANADOLU	33,000		3,521,843	17,672	7,442	3,546,957	3,579,957
AKDENİZ			288,994	60,012	13,600	362,606	362,606
TOPLAM	156,876	142,500	7,339,046	625,936	110,014	8,074,996	8,374,372

Tablo 2.6 , linyit rezervlerinin alt ısı değere göre dağılımlarını vermektedir. Görünen 7.339 milyon ton rezervin 3.357 milyonunu, 1.100 kcal/kg ısı değere sahip Afşin-Elbistan linyitleri oluşturmaktadır. Tablodan da görülebileceği gibi linyitlerimizin yaklaşık % 69'u düşük ısı değere sahip olup, alt ısı değerleri 2.000 kcal/kg'ın altındadır.

Linyitlerimizin analiz sonuçları incelendiğinde; kül, nem ve kükürt değerlerinin geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir (Akcura ve Gerger, 1982; Arıkol vd., 1984). Ayrıca linyitlerimiz rezervden rezerve olduğu kadar aynı rezerv içerisinde de önemli değişimler göstermektedir. Tablo 2.7 Türk linyitlerinin kül, nem ve kükürt içeriklerinin toplam rezervdeki yüzdelerini vermektedir.

Tablo 2.6. Türk linyitlerinin alt ısı değere göre dağılımı (1993) (Bin Ton)

Alt ısı değeri (kcal/kg)	Görünür rezerv	Muhtemel rezerv	Mümkün rezerv	TOPLAM REZERV	Dağılım (%)
< 1000	123.165	-	142.500	265.665	3,17
1001 - 1500	4.367.128	152.016	-	4.519.144	53,96
1501 - 2000	870.275	91.928	10.000	972.203	11,61
2001 - 2500	674.008	139.764	11.8370	932.142	11,13
2501 - 3000	927.054	114.971	63.306	1.105.331	13,20
3001 - 3500	324.382	37.595	38.970	400.947	4,79
3501 - 4000	4.280	14.378	9.786	28.444	0,34
4001 - 4500	11.814	19.765	268	31.847	0,38
> 4501	36.940	55.519	26.190	118.649	1,42
TOPLAM	7.339.046	625.936	409.390	8.374.372	100

Tablo 2.7'de, % 20'den az kül içeren linyitlerimizin, toplam rezerv içindeki yeri % 3,73 olarak görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, linyitlerimizin % 96'sı yüksek kül içermektedir. Kükürt içeriği % 1'in altında olan linyitlerimiz ise toplam rezervin % 3,7'sini oluşturmaktadır. Amerika'da kabul edilebilir kükürt oranının % 0,8 olduğu dikkate alınırsa Türk linyitlerinin % 97'si yüksek kükürtlü

kömürler sınıfına girmektedir. Nem içeriği % 20'den az olan linyitler ise rezervin % 15,14'ünü kapsamaktadır.

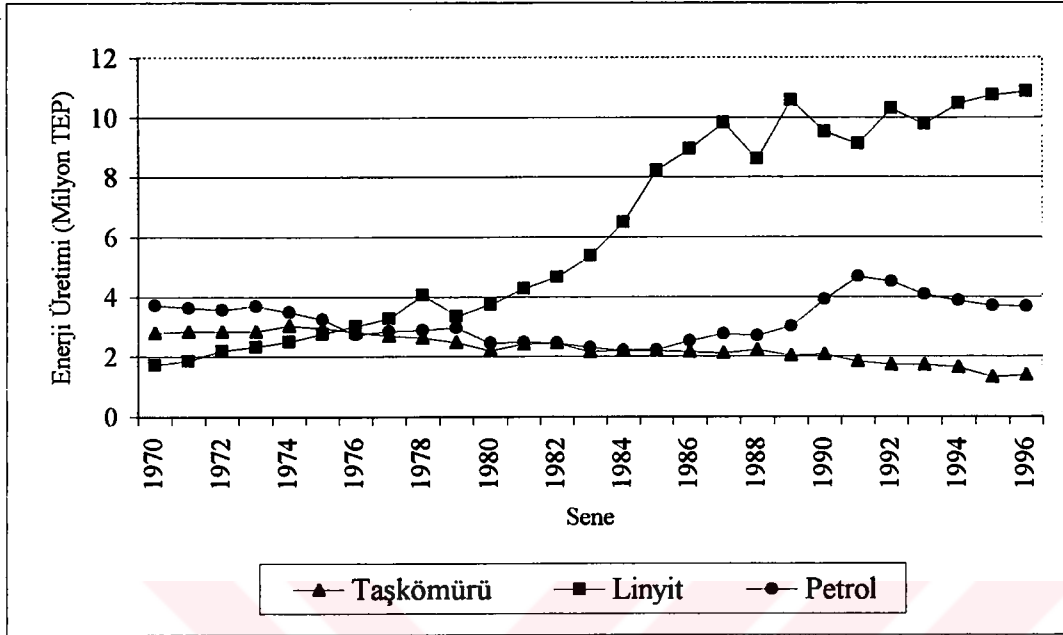
Tablo 2.7. Türk linyitlerinin kül, nem ve kükürt içerikleri

Kül içeriği (%)	Rezervdeki pay (%)	Nem içeriği (%)	Rezervdeki pay (%)	Kükürt içeriği (%)	Rezervdeki pay (%)
10 – 15	1,54	0 - 10	0,89	0 - 1	3,7
15 -20	2,19	10 - 20	14,25	1 - 2	68,29
20 - 25	52,37	20 - 30	14,21	2 - 3	14,11
25 - 30	19,03	30 - 40	13,21	3 - 4	5,86
> 30	24,87	> 40	57,44	> 4	8,04

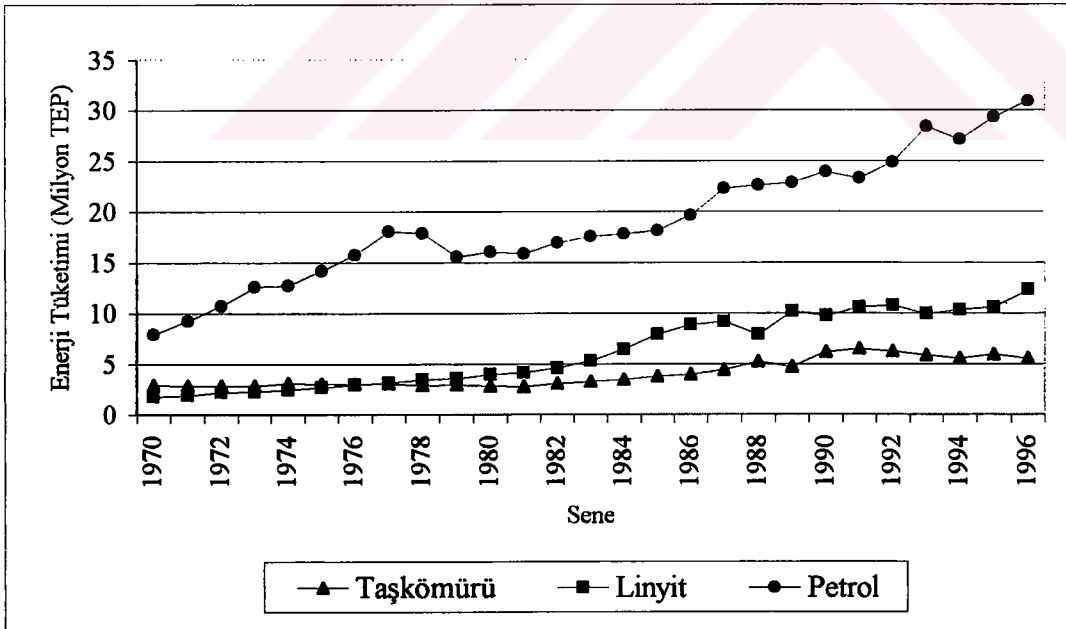
Düşük kaliteli yakıtların verimli ve temiz yakılabilmesi için yeni yakma sistemlerinin geliştirilmesi veya yakıt özelliğinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada Akışkan Yataкта Yakma teknolojisi, kül, kükürt ve nem yüzdeleri yüksek, ısı değeri düşük linyitlerimiz için bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 2.2 incelendiğinde, linyit üretiminin yılda ortalama % 10,9'luk bir artışla 1975 yılında 9.150 bin tondan 1992 yılında 48.388 bin tona ulaştığı, 1992 yılında 1991 yılına göre % 11,8'lik bir artış ile gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 2.3 ise birincil enerji kaynaklarının tüketimini göstermektedir. İleriye dönük olarak enerji dengemiz incelendiğinde enerji açısından dışa bağımlılığın artacağı görülmektedir (Şekil 2.4).

Birincil enerji kaynakları talebinin 2000 yılında 95,8 milyon TEP, 2005 yılında 132,6 milyon TEP, 2010 yılında ise 184,1 milyon TEP olması ve talebin yerli üretimle karşılanma oranlarının ise 2000 yılı için % 47, 2005 yılı için % 41 ve 2010 yılı için % 35 olması beklenmektedir (Enerji raporu,1993).

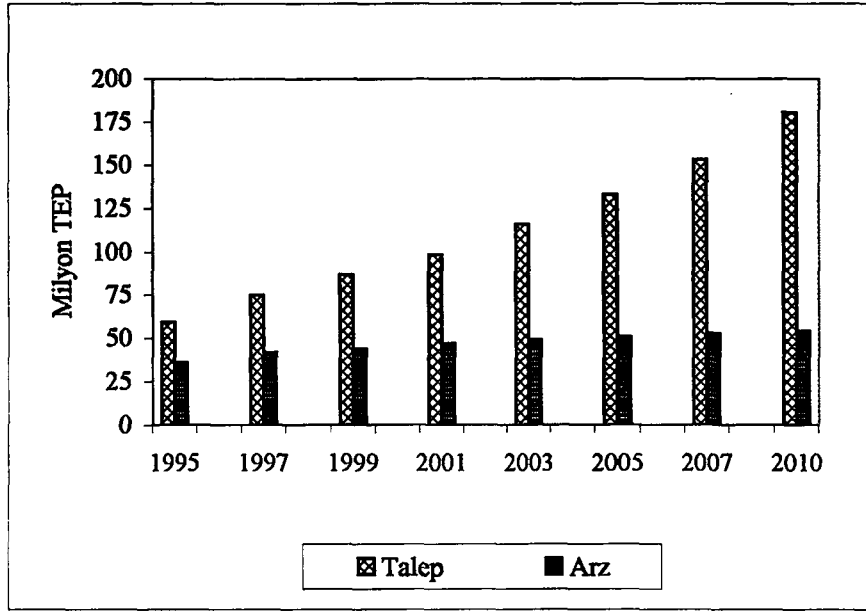
Görüldüğü üzere, yerli üretimin talebi karşılama oranı giderek azalmakta olup programlanan üretim hedefleri ve talep tahminleri doğrultusunda ülke enerji ihtiyacının karşılanabilmesi amacıyla 2010 yılında toplam 120,2 milyon TEP enerji ithalatı yapılmasının zorunlu olacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 2.2. Birincil enerji kaynakları üretimi (1970-1996)



Şekil 2.3. Birincil enerji kaynakları tüketimi (1970-1996)



Şekil 2.4. Enerji arz-talep grafiği

Yurdumuzun her yıl artmakta olan enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir yeri olan linyitlerimizin, verimli bir şekilde yakılmaları için yanma veriminin iyileştirilmesi ve çevre sorunlarının çözümü gerekmektedir. Linyitlerimizin; düşük ısıl kapasite, yüksek uçucu madde, yüksek kükürt içeriği ve yüksek kül oranına sahip olması yanma esnasında bazı sorunlara neden olmaktadır. Düşük ısıl kapasite, linyitin yakılacağı tasarımlarda bazı zorluklar yaratmaktadır. Yüksek uçucu madde oranı ısı transferi seçimini etkilemekte, yüksek kükürt içeriği ise atmosfere büyük ölçüde SO_2 verme ve çevre kirliliğini artırma riskini getirmektedir. Yüksek kül oranı yanma verimini düşürmekte ve yakıcı tasarımını etkilemektedir. Bilim adamlarının yapmış olduğu çalışmalarda bütün bu olumsuz etkenlerin meydana getireceği sorunları en az düzeye indirebilecek tasarımın Akışkan Yatak Teknolojisi olduğu görüşü ortaya çıkmaktadır.

Diğer ülkelerin kömürlerine uygun olarak tasarlanmış ve geliştirilmiş olan akışkan yataklarda, farklı özelliklere sahip olan linyitimizi verimli bir şekilde yakmak mümkün olmamaktadır. Kullanılan kömürün özelliklerine bağlı olarak tasarlanmış akışkan yatak ile farklı kömürler verimli şekilde yakılamamaktadır. Yatakta, kömür besleme, kül boşaltma ve ısı çekme bölgelerinin çok iyi belirlenmesi gerekmektedir. Dünya literatüründe incelenen linyitlerin arasında Türk linyitlerinin veya eş bileşimli linyitlerin verilerine pek rastlanmamaktadır. Elde edilen veriler daha ziyade yüksek kaliteli kömürlere ait olanlardır.

3. BİYOKÜTLE

3.1 Biyokütle Nedir

Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir koloniye ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam ağırlığı olarak tarif edilebilir. Biyokütle deyimini canlı ağırlık ve dikili ürün deyimleri ile eş anlama gelmekte ve çoğu kez *phytomass* ve *zoomass* olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ölçü birimi belirli bir alana oranlanmış yaş ya da kuru ağırlıktır. Biyokütle aynı zamanda bir organik karbon olarak da tarif edilebilir. Bitkilerin ve canlı organizmaların orijini olarak ortaya çıkan biyokütle, güneş enerjisinin fotosentez yardımıyla depolanması sonucu oluşmaktadır. Yani biyokütle bir fotosentez ürünüdür. Fotosentez ise güneş radyasyonunun etkisi ile organik maddelerin sentezlenmesi ve kimyasal enerjinin depolanmasıdır. Bu çok önemli yenilenebilir enerji işlemidir; çünkü canlı organizmalar fotosentez ile oluşmaktadır. Canlı organizmaların fotosentez sonucu oluşması ve bütün yaşamın güneş enerjisinin depo edildiği oksijene bağlı olması yenilenebilir enerji yaratan fotosentez olayının önemini açıkça göstermektedir. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezlenirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijende atmosfere verilir. Bu üretilen organik maddelerin yakılması sonucu açığa çıkan CO₂ daha önce bu maddelerin oluşumu sırasında kullanılmış olduğundan biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, sera etkisi açısından korunmuş olacaktır.

Çevreyi kirletmeyen yenilenebilir enerji kaynakları arasında, özellikle gelişmekte olan ülkeler için uygulama alanı en geniş olanı belki de biyokütledir. Enerji depolamasında karşılaşılan problemler gözönüne alındığında biyokütle çok büyük avantaj sağlamaktadır.

Yanabilir biyokütle türü yakıtları, enerji bitkileri ve atık biyokütle türleri olarak ikiye ayırabiliriz. (Tablo 3.1.1) (La Nauze, 1987). Bu cins bazı yakıtlara ait karakteristik özellikleri de Tablo 3.1.2'de görebiliriz.

Tablo 3.1.1 Yanabilir biyokütle cinsi yakıtlar

ENERJİ BİTKİLERİ	
. C4 tipi bitkiler (Tatlı-Sorgum) . Kısa dönem ormanları (Kavak, ökaliptus) . Yarı kurak alan bitkileri (Cynara)	
ATIK BİYOKÜTLE TÜRLERİ	
1. Tarımsal/Ormansal Ürünler . Bitki atıkları, turba . Odun atıkları/ağaç kabuğu . Talaş . Pirinç kabuğu . Hindistan cevizi kabuğu . Pamuk atığı . Hurma yağı atığı	2. Gıda Prosesi Atıkları . Elek atıkları, kaba atıklar . Kahve ve Çay Talaşı . Küspe . Aktive Edilmiş Atıklar . Bitkisel atıklar
3. Kağıt Hamuru ve Kağıt . Hamur sıvısı . Birincil tasfiye çamuru . Aktive edilmiş atıklar	4. Şehirsel ve diğer atıklar . Kanalizasyon atıkları . Çöp . Çöpten üretilen yakıtlar (biogaz vb.) . Endüstriyel biyokütle atıklar

Tablo 3.1.2 Bazı biyokütle cinsi yakıtların karakteristik analizleri

Biyokütle	% Ağırlık (Yanmış olarak)			
	Nem	Uçucu	Kül	Isıl değer kcal/kg
Ağaç kabuğu	56	2	0,6	2.388
Mısır atığı	80	16	0,5	955
Endüstriyel çamur	58	31	0,8	1.433
Kağıt çamuru (kuru)	4	70	15	3.583
Bitki atıkları	40	40	1,3	3.822
Pirinç kabuğu	8	21	0,3	3.105
Kanalizasyon çamuru (kuru)	17	38	1,3	2.866
Odun atıkları	50	3	0,1	2.388
Antrasit	5	5	10	6.210
Bitümlü kok	10	25	10	5.732
Linyit	50	30	1	2.866

3.1.1 Biyokütlenin Avantajları

Biyokütle, yenilenebilir olması, her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması, çevre korumasına katkısı, elektrik üretimi, kimyasal madde ve özellikle taşıt vasıtaları için yakıt elde edilebilmesi nedeni ile stratejik bir enerji kaynağı sayılmaktadır. Petrol, kömür, doğal gaz gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının kısıtlı olması, ayrıca çevre kirliliği oluşturması nedeni ile, biyokütle kullanımı enerji sorununu çözmek için giderek önem kazanmaktadır. En önemli karakteristiği de depolanabilmesidir. Bitkilerin fotosentezi esnasında kimyasal olarak özellikle sellüloz şeklinde depo edilen ve daha sonra çeşitli şekillerde kullanılabilen bu enerjinin kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin biyokütle formundaki depolanmış enerjiye dönüşümü insan hayatı için esastır. Besin maddeleri de bu yolla üretilmektedir. Güneş enerjisinin biyokütleye dönüşümündeki en önemli özellik bu enerjinin depolanabilir olmasıdır. Dünya yüzeyine gelen enerjinin yaklaşık % 0,1' i biyokütleye dönüştürülerek depolanmaktadır.

Gelişmekte olan ülkelerin birçoğunda biyokütle enerjisi artan bir hızla kullanılmaktadır. Bugün dünyanın birincil enerji ihtiyacının % 13' ü biyokütleden elde edilmekte olup, 22 milyon baril petrol/gün'e karşılık gelmektedir. Dünya nüfusunun yarısı gelişmekte olan ülkelerde yaşamakta ve bu ülkelerden örneğin; Kenya toplam enerji ihtiyacının 3/4, Hindistan 1/2, Çin 1/3, Brezilya 1/4, Mısır 3/4 kadarını biyokütleden sağlamaktadır (Barbir ve Veziroğlu, 1992). Buna karşılık gelişmiş ülkelerden Kanada enerji ihtiyacının % 10' unu, ABD % 4' ünü biyokütleden sağlamaktadır.

Son yıllarda, genetik mühendisliğinin de yardımı ile hızlı ve hemen her ortamda yetişen enerji bitkileri konusunda yoğun bir araştırma sürmektedir. Biyoenerji temini amacıyla yetiştirilen ve yüksek verim potansiyeline sahip enerji bitkileri olarak şu örnekleri verebiliriz: Yıllık C4 bitkilerinden *Sweet-Sorghum* ve *miscanthus*; kısa dönem ormanlarından söğüt, kavak ve eucalyptus; yarı kurak alan bitkisi olarak da *cynara* örnek olarak verilebilir. Bu konuda en ümit verici kaynak olarak, *Sweet-Sorghum* (Tatlı-Sorgum) adıyla bilinen enerji bitkisi görülmektedir.

3.1.2 Tatlı-Sorgum Hakkında Genel Bilgiler

Biyokütleden enerji elde edilmesinde Tatlı-Sorgum; çeşitli iklim şartlarında yetiştirilmesi, özel bir toprak isteğinin bulunmaması, 4000-4200 kcal/kg kalorifik değere sahip olmasıyla, yurdumuz açısından ümit vaadeden bir enerji bitkisi olarak görülmektedir. Tatlı-Sorgum; *Graminaceae* familyasına ait *Monocotyledone* sınıfındandır. 113 türü vardır ve 40000' den fazla genotip temsil etmektedir. Tatlı-Sorgum ya da *Sorghum Bicolor*'un bilimsel adı ise *Sorghum vulgare var. Saccharatum Moench* olup dünyada çok yaygın olarak yetiştirilmekte olan önemli bir yıllık C4 bitkisidir. Bu bitkiler ise şu özellikleri ile karakterize edilirler:

- . Düşük CO₂ konsantrasyonlarında dahi fotosentez yoluyla karbon özümlemesini çok iyi kullanabilirler,
- . Işık şiddetini kullanma yetenekleri yüksektir.
- . Yüksek sıcaklığa gereksinim duyarlar 20-25 °C.
- . Daha düşük oranda suya gereksinim duyarlar.
- . Mevsimsel kuraklığa dayanıklıdır .
- . Başlangıçta 4 karbon atomu içeren organik molekülleri bağlarlar, yani ilk ürünü 4 karbonlu bileşiklerdir.

Türkiye'nin iklim şartlarına uygun olan Tatlı-Sorgumun geniş çapta yetiştirilmesi ile benzine alternatif olarak düşünülen ve özellikle Brezilya'da çok kullanılan etil alkol ve/veya türevleri üretiminin yanı sıra, bitkinin doğrudan yakılması ile enerji elde etmek mümkündür.

Tübitak-MAM'de, yapılan çalışmalar sonucunda (Türe vd., 1994b), 5 milyon hektar alana Tatlı-Sorgumun ekilmesiyle elde edilecek enerji miktarı yaklaşık 80 milyon eşdeğer petrol olarak hesaplanmıştır. Bu miktar ise Türkiye'nin şu andaki mevcut enerji tüketimine eşdeğerdir. Türkiye'de halen 25 milyon hektar ekilebilir alan varolduğu düşünüldüğünde, bu alanın sadece 1/5'ne Tatlı-Sorgumun ekilmesi ile, şu andaki yıllık birincil enerji ihtiyacının karşılanacağı vurgulanmıştır.

3.1.3 Tatlı-Sorgumun Avantajları

Tatlı-Sorgum, sahip olduğu yüksek fotosentez verimi (% 2-3), her iklimde kolaylıkla yetiştirilebilmesi, fazla sulama ve gübreye ihtiyaç göstermemesi nedeni ile tercih edilmektedir. Biyokütle ve bunlardan türetilen yakıtların uygun şartlarda yakılması ile havaya atılan duman içerisinde çok az miktarda kükürt ve NO_x bulunmakta olup CO₂ dengesi ise sıfıra yakındır. Dünya'nın giderek artan çevre kirliliği ve enerji ihtiyacı gözönüne alındığında Tatlı-Sorgum bitkisinin bu probleme büyük ölçüde çare olabilecek güçte olduğu kolayca görülmektedir.

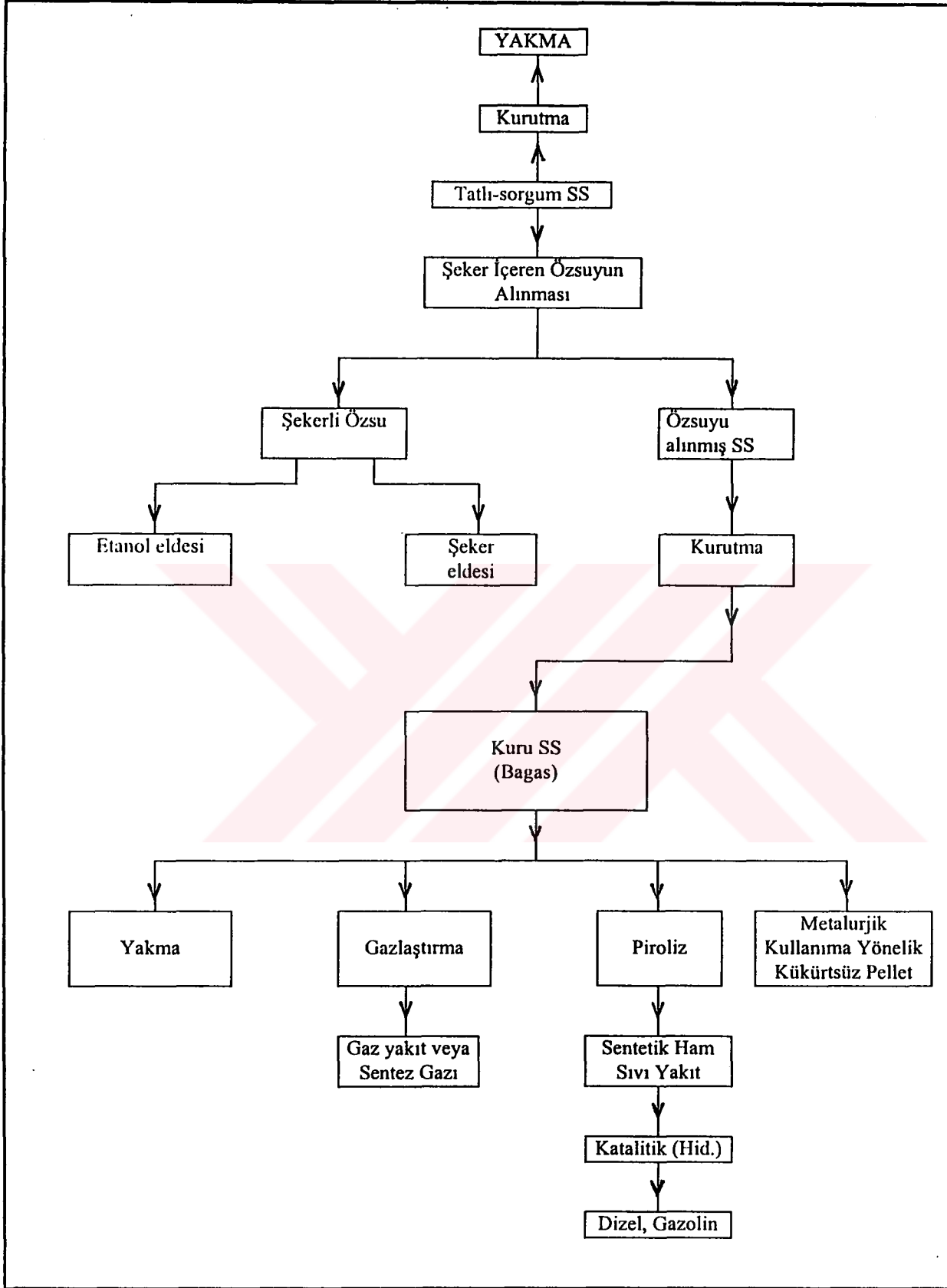
Tatlı-Sorgumun su ihtiyacı oldukça azdır. Örneğin, yağış ihtiyacı 300-850 mm olan mısır bitkisine karşılık Tatlı-Sorgum için 150-300 mm yağış gerekmektedir (Dalianis vd., 1992) Gübreleme ihtiyacı da diğer benzer ürünlerle karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Yine bir C4 bitkisi olan mısıra göre, sıcaklık ve kuraklığa daha dayanıklıdır. Kuraklığa dayanıklılığı bir pasif dayanıklılık olup aşırı kurak dönemde bitki uyku haline geçerek uygun şartları bekler. Mısıra göre % 50 daha az pestisid ve gübrelemeye ihtiyaç gösterir. Farklı iklimlere adaptasyon yeteneği yüksek olup, düşük kaliteli toprakda da yetişebilmektedir.

Tatlı-Sorgumun içerdiği şeker, genellikle % 70-80 oranında sakkaroz ve geri kalanı fruktoz ve glukozdan oluşmakta olup, şeker kamışına benzemektedir. Tatlı-Sorgum, konvansiyonel şeker rafinerilerinde direkt olarak işlenerek piyasaya verilebilir. Tatlı-Sorgum'un besin

maddesi olarak kullanımının dışındaki en büyük kullanım şekli bu maddenin fermantasyon yolu ile etanole dönüşümüdür. Tatlı-Sorgumdan yılda hektar başına 2-3 ton petrol eşdeğeri etanol ve şekeri alınmış posa kısmından ise 6-9 ton petrol eşdeğeri yakıt elde edilir. Bu ise yılda hektar başına 30-45 ton CO₂ absorpsiyonu demektir. Etanol taşıt araçlarının motorlarında yapılacak küçük bir değişiklikle rahatlıkla kullanılabilir. Örneğin, Brezilya'da etanole adapte edilmiş motorlarda % 100 oranında yakıt olarak etanol kullanılmaktadır.

Türe ve diğerleri, yaptıkları çalışmada Türkiye'nin tarıma elverişli alanlarının dışında kalan daha az verimli topraklarda bir hektar arazi üzerinde yapılacak Tatlı-Sorgum ekimi sonucu elde edilecek toplam enerjiyi, çevre kirliliği ve enerji maliyetleri açısından hesap etmiş ve bu değerleri diğer fosil yakıtlardan (kömür, petrol vb.) elde edilen enerji ile karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmayı Tablo 3.2.1.1'de görebiliriz.

Tatlı-Sorgum geniş enerji spektrumuna sahip olup çok sayıda enerji ürünleri için ana ham maddedir (Şekil 3.1.3.1). Son yıllarda farklı endüstri dallarında kullanımından dolayı endüstri ülkelerinin çok ilgisini çekmiştir. Bu enerji ürünleri arasında etanol, pirolitik yağ, kalitesi arttırılmış yakıtlar, mangal kömürü, sentetik gaz, bitkinin su ve şekeri alınmış posa kısmından elde edilen selülozik madde sayılabilir. Biyokütle ve türevi yakıtlardan enerji temininde en ümit verici bir uygulama şekli de elektrik üretimidir. Biyokütle yakılarak elde edilen elektrik enerjisinin maliyeti, Tatlı-Sorgum ekiminden alınacak yüksek verim ile büyük miktarda azaltılabilir. Tatlı-Sorgum bitkisinin verimliliğini sınırlayıcı önemli bir faktör de ortam sıcaklığıdır. Düşük sıcaklıklar fotosentez aktivitesine önemli bir engel olup, ilkbaharda yaprakların büyümesini azaltır. Tatlı-Sorgumun, orta ve güney Avrupa'nın değişik bölgelerinde, 70 çeşidi üzerindeki denemelerden elde edilen sonuçlara göre, yıllık ortalama verim 90 tondan fazla taze (yaklaşık 25 ton kuru) maddedir. Bu da hektar başına 8-10 ton şeker demektir. Uzun vadede bitki veriminin arttırılması ve küçük çaplı güç üretim ünitelerinin geliştirilmesi ile biyokütleden elektrik enerjisi eldesi ekonomik olacaktır. İtalya (ENEL) da yapılan ilk denemelerde (Unanimous-5, 1993), biyokütleden elde edilen pirolitik yağ veya odun kömürü-su karışımı yakıt kullanan termal güç istasyonlarında, kükürt oranı % 0,01' den daha düşük ve enerji yoğunluğu biyokütle parçalarından 4 kat daha fazla bulunmuştur.



Şekil 3.1.3.1 Tatlı-Sorgumdan enerji kullanımına yönelik olarak elde edilebilecek Ürünler

Tatlı-Sorgumun günlük kuru madde biriktirme hızının çok yüksek olması enerji kaynağı olarak kullanılması açısından avantaj sağlamaktadır . Tatlı-Sorgumun şekeri çıkarıldıktan sonra kalan posası enerji temininde ve endüstri alanında kullanılabilir. Bunun kalori değeri yaklaşık olarak 3800-4300 Kcal/kg dır ve direk olarak seramik gaz türbünlerinde % 40 gibi yüksek dönüşüm verimi ile yakılarak elektrik üretmek mümkündür. Bu elektrik üretiminde yakıtın çevresel etkileri ve üretim masrafları çok düşüktür. CO₂ etkisi sıfır, kükürt ise yok denecek kadar azdır. Normal şartlar altında kuru ağırlık cinsinden yılda hektar başına 25-35 ton ligno selülozik madde üretilmekte olup, bu da Tatlı-Sorgum posasının değerlendirilmesi açısından büyük avantaj sağlamaktadır (Leben News, 1992).

Türkiye'nin iklim şartlarına da çok uygun olan Tatlı-Sorgumun geniş çapta yetiştirilmesi ile elektrik enerjisi üretiminin yanısıra Brezilya örneğinde olduğu gibi, benzine alternatif olarak etanol ve/veya türevlerini de elde etmek mümkündür. Dışa bağımlı olmadan, ülkenin doğal kaynakları ile sağlanacak ve çevreyi kirletmeyecek böyle bir enerji kaynağının teşvik edilmesi Türk ekonomisine büyük yarar sağlayacaktır.

3.2 Biyokütle ve Biyoenerji

Bitkilerin fotosentezi esnasında kimyasal olarak özellikle karbohidrat şeklinde depo edilen güneş enerjisidir. Bu terim aynı zamanda biyokütleden fermantasyon gibi dönüşme yöntemleri ile sıvı yakıtların oluşmasını içeren enerjiyi vermektedir.

Fotosentetik enerji hakkında fikir verebilmek için bunun 100.000 büyük nükleer güç istasyonunun verdiği güce ($0,9 \times 10^{14}$ W) eşit olduğunu söylemek yeterli olacaktır. Yeşil bitkiler ve fotosentetik organizmalar üzerine gelen güneş ışınları iki ana fonksiyonla ilgilidir:

- 1) kimyasal reaksiyonlar için sıcaklık kontrolü
- 2) karbon ve oksijen üretimi için elektronların ışıkla uyarılması.

Fotosentezde üretilen organik madde esas olarak karbohidrattır. Eğer, bu kuru madde oksijenle yakılırsa açığa çıkan ısı yaklaşık 16 MJ/kg (her bir karbon atomu için 4,8 eV) demektir (Twidell ve Weiv, 1986).

3.2.1 Tatlı-Sorgumdan Enerji Elde Edilmesi

Orta Anadolu Bölgesi için yapılan hesaplara göre 1 hektar araziden yılda ortalama 80-100 ton yaş veya 25-30 ton kuru biyokütle elde edilebilmektedir. Bu bölge için yıllık ortalama yağış miktarı 250 mm civarındadır. İklim koşulları açısından daha uygun olan güney bölgelerimizde ise verimin hektar başına 40 ton biyokütle düzeyine çıkabileceği düşünülmektedir. Tatlı-Sorgum bitkisinin yıllık gübre ihtiyacı ise 200 kg/ha olarak bulunmuştur. Tatlı-Sorgum bitkisinin tohumundan yapılan ekim, sulama, gübreleme, tarım makinaları ile hasadı, kurutulması, taşınması ve depolanması aşamaları sırasında yapılan tüm harcamalar yaklaşık 30 \$/ton düzeyindedir. Kuru biyokütlenin ısı değeri ise 16.000-18.000 MJ/ton (3800-4300 kcal/kg) aralığında değişmektedir. Biyokütleden en alışlagelmiş yöntem olan yakma yolu ile enerji elde edilmesinde yanma veriminin orta kalite bir kömüre eşit olacağı varsayılsa dahi, biyokütlenin günümüz koşullarında ithal doğal gaz, fuel-oil, kömür ve yerli linyitlerimizden çok daha ucuz olduğu açıktır (Tablo 3.2.1.1) (Türe vd., 1994b).

Ayrıca biyokütle çoğu kömürden daha reaktif olup, son derece az miktarda kül ve ancak % 0,01-0,09 oranlarında kükürt içermektedir. Biyokütle kaynağı olarak bilinen farklı Tatlı-Sorgum türlerinin ve çeşitli tarım ürünlerinin yakıt özellikleri Tablo 3.2.1.2'de verilmiştir. Biyokütle yakan sistemler SO₂ artması gerektirmezler.

Tablo 3.2.1.1 Sanayide kullanılan yakıtların fiyatlarının Tatlı-Sorgum ile karşılaştırılması.

Yakıt	Birim Fiyat	Alt Isıl Değer	\$/100 kcal
Kuru Tatlı-Sorgum	0,030 \$/kg	4.000 kcal/kg	0,0075
Doğal Gaz (Anadolu)	0,099 \$/m ³	8.250 kcal/m ³	0,0120
Doğal Gaz (İstanbul)	0,113 \$/m ³	8.250 kcal/m ³	0,0137
Fuel-Oil	0,097 \$/kg	9.200 kcal/kg	0,0105
Linyit	0,040 \$/kg	3.000 kcal/kg	0,0133
İthal Kömür	0,110 \$/kg	6.000 kcal/kg	0,0183
Elektrik	0,065-0,075 \$/kWh	-	-

Ayrıca yanma sırasında oluşan CO₂, bitkinin büyümesi sırasında ortamdan aldığı CO₂

tarafından dengelenmekte ve sera etkisi ortadan kalkmaktadır. Çevre etki değerlendirilmesi konusunda yapılan çalışmalarda en temiz yakıt olarak bilinen doğal gazın dahi üretilen her bir GJ başına 5\$'ı aşan bir çevre zararı olduğu vurgulanmaktadır ki bu zarar kömürlü sistemlerde 9\$/GJ düzeylerine çıkmaktadır (Sayigh, 1993). Biyokütlenin çevre zararının çok daha düşük düzeyde olacağı açıktır (Science and Technology, 1993). Biyokütlenin, tarımının geliştirilmesi, fosil yakıtların azalması ve çevre koruma yaptırımlarının uygulanmasına paralel olarak yakın vadede daha da ekonomik olacağı açıktır.

Biyokütleden yurdumuz koşullarında yakma yolu ile elektrik enerjisi eldesi konusunda yapılan ön fizibilite çalışmalarında 1 MW elektrik (7000 saat/yıl) kapasiteli bir santral baz olarak alınmıştır. Hesaplamalar kuru Tatlı-Sorgum yakıldığında birim elektrik üretim maliyetinin en çok 7 cent/kWh olduğunu göstermiştir (Türe vd., 1995). İyi bir üretim organizasyonu ve uygun yakma teknolojisinin seçimi ile bu maliyetin 6 cent/kWh'a düşmesi beklenmektedir. Bu maliyetler literatürde verilen değerlerle de uyum içerisindedirler (Holdren vd., 1980). Yapılan karşılaştırmalı çalışmada elektrik enerjisi birim maliyetinin, Tatlı-Sorgum için en düşük olduğu ve bu maliyetin sırasıyla doğal gaz, linyit ve ithal kömür kullanımına doğru gidildikçe 10-12 cent/kWh'a kadar arttığı saptanmıştır. Bu maliyetlere çevre zararının eklenmesi ile oranın daha da açılacağı ortadadır. Bugün sanayiye verilen elektrik enerjisi fiyatı 6,5-7,5 cent/kWh olup, Tatlı-Sorgum, düşük kapasiteli tesislerde dahi bu fiyatlarla rekabet edecek durumdadır.

Son olarak yurdumuzdaki bozuk orman alanlarının 50.000 km²'ye ulaştığını ve bunların yaklaşık %20'sinin verimli arazi olduğunu vurgulamak gerekir (Enerji Raporu, 1993). 1 MW elektrik (7x10⁶kWh/yıl) düzeyinde üretim için ise yalnızca 1-1,5 km² Tatlı-Sorgum ekim alanı gerekmektedir. Tatlı-Sorgum tarımının ve değerlendirilmesinin yurdumuzda yeni iş olanakları sağlayacağı ve en önemlisi enerji açısından dışa bağımlılığı azaltacağı kesindir. Tüm bu bilgiler ışığında Tatlı-Sorgumun yurdumuz enerji üretiminde ilk etapta yakma, daha sonra ise çeşitli katı ve sıvı yakıtlar eldesi yönünden ülke ekonomisine katkısı açıkça görülmektedir.

Tablo 3.2.1.2 Tatlı-Sorgum türlerinin ve bazı tarım atıklarının yakıt özellikleri (Kuru bazda)

Biyokütle	% C	% H	% N	% S	% O	% Kül	% U.M.	Ü.I.D(cal/g)
Brandes	44,63	6,25	0,20	0,13	48,81	3,17	79,11	3.992,3
Keller	43,64	6,31	0,19	0,05	50,19	2,20	76,88	4.008,6
Wray	43,51	6,10	0,12	0,04	50,23	1,78	79,13	4.042,8
Dale	43,64	6,33	0,16	0,04	50,17	1,80	80,18	3.886,5
Rona	42,56	6,19	0,16	0,05	51,04	1,58	78,41	4.046,4
M81E	44,23	6,25	0,18	0,09	49,25	1,59	79,58	4.110,6
MN1500	44,77	6,27	0,09	0,06	48,81	1,63	81,41	4.078,1
Theis	44,96	6,45	0,50	0,13	47,96	3,70	77,81	4.032,2
Rio	44,40	6,22	0,39	0,11	48,88	2,20	77,65	4.000,6
Buğday	44,62	5,89	0,39	0,10	41,43	7,57	79,57	3.830,0
Mısır	43,00	5,52	0,62	0,14	41,37	9,60	77,54	3.953,9
Ayçiçeği	43,09	5,41	1,07	0,19	39,58	10,67	74,61	3.413,3
Pamuk	45,66	5,40	0,72	0,14	41,40	7,28	76,52	4.080,9
Şeker Pancarı	43,11	5,82	1,18	0,09	45,39	4,42	79,42	3.996,7
Rox	44,40	6,25	0,20	0,06	45,61	3,47	78,69	4.120,6
Kargı	43,64	5,34	0,64	0,21	42,95	7,22	77,32	4.306,1

3.3 Fosil Yakıtların ve Tatlı-Sorgumun Çevresel Etkileri

Ülkemizin ve özellikle dünyanın giderek artan enerji ihtiyacı ve çevre kirliliği göz önüne alınarak, çevre dostu bir enerji bitkisi olan Tatlı-Sorgum ile TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi'nde bir çalışma yapılmıştır. İlk denemelerden elde edilen olumlu sonuçlara göre, Tatlı-Sorgumun karbon içeriği % 44,0, kükürt içeriği % 0,09 ve üst ısı değeri ortalama 4100 Kcal/Kg olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada linyit kömürlerimizle, Araştırma Merkezinin arazisi içerisinde yetiştirilen Tatlı-Sorgumun yakıt olarak geniş çapta kullanılması durumunda atmosfere verilebilecek emisyonlar açısından bir karşılaştırması yapılmış ve Tatlı-Sorgumun hava kirliliğini

azaltmadaki önemi ortaya çıkarılmıştır. Sonuç olarak Tatlı-Sorgumun yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olduğu, buna göre kömüre alternatif olarak kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

3.3.1 Fosil Yakıtların Çevresel Etkileri

Hava kirliliğinin en önemli etkeni yanma olayı olup, özellikle yapılarında C,H,O,S ve N gibi temel elementleri içeren fosil yakıtların yanması sonucu oluşan ve atmosfere verilen CO₂, SO₂, ve NO_x emisyonları çevre kirliliğinin en büyük kaynağını oluşturmaktadırlar. Avrupa Topluluğunda fosil yakıtlardan dolayı her yıl 20 milyon ton SO₂ emisyonu olmaktadır.

Türkiye'de ise hava kirliliğinin artması birincil enerji kaynağı tüketiminin artışı ile paralellik göstermektedir. Bunda en büyük pay yerli linyitlerimizin kullanımının artışından dolayıdır. Türk linyitlerinin büyük bir çoğunluğu, 8,3 milyar tonluk rezervin yaklaşık % 69 gibi önemli bir bölümü düşük kalorifik değere sahip olup, bunların kükürt, kül ve nem içerikleri de oldukça fazladır. Yerli linyit kullanımından dolayı 1986 yılında SO₂ emisyonu 1,6 milyon ton olarak hesaplanmış olup bu ise toplam SO₂ emisyonunun % 50 'sinden fazlasını oluşturmaktadır (Plinke vd., 1992). Fosil yakıtların yanma reaksiyonu sonucunda atmosferik sera etkisine yol açan CO₂ emisyonu 1900 yılında 0,6 milyar ton/yıl iken, özellikle son 40 yılda büyük bir artış göstererek, 1988 yılında 5,5 milyar ton/yıl olarak gerçekleşmiştir. Türkiye için sadece fosil yakıt kullanımından dolayı tahmini CO₂ emisyonu, 2005 yılında 410 milyon ton, 2010 yılı için ise 550 milyon ton olarak hesaplanmıştır. Türkiye'deki NO_x emisyonunun ise % 50' si ulaşım sektöründen % 20' si enerji sektöründen gelmektedir.

3.3.2 Tatlı-Sorgumun Çevresel Etkileri

Tatlı-Sorgum, güneş enerjisini biyokütle enerjisine çevirmede çok büyük bir potansiyele sahip, farklı iklim şartlarında yetiştirilebilen, fazla gübreleme ve sulamaya ihtiyaç göstermeyen, fotosentez verimi (% 2-3) ve atmosferik karbondioksiti tesbit etme hızı yüksek, buna bağlı olarak da kuru ligno sellülozik madde verimi fazla C4 tipi bir bitkidir. Ayrıca suyu kullanma verimi de çok iyi olup her m² de bir kilogram kuru madde elde etmek için 250 litre suya ihtiyaç duymaktadır (Grassi vd., 1992). Doğrudan yakıt olarak kullanıldığında kükürt içeriğinin çok az olmasından dolayı (% 0,09) SO₂ emisyonu çok

düşük, CO₂ dengesi sıfıra yakındır. NO_x emisyon hızı da düşük olduğundan çevre etkisi pozitifdir. Yılda hektar başına 30-45 ton CO₂ absorbe etmektedir. Diğer çevresel avantajlarına gelince, gübre ihtiyacı çok az olduğundan(150 kg/ha) toprak ve su kirliliği çok daha az oluşmakta, mikro iklim kontrolü, toz absorpsiyonu, erozyon kontrolü ve orman yangını kontrolü sağlamaktadır.

Bu özelliklerinden dolayı Avrupa Topluluğu Tatlı-Sorgumu çok ümit verici bir enerji ürünü olarak görmekte olup, yaklaşık 110 milyon TEP üretim için 10 milyon hektar alan bu amaçla tahsis edilmiştir (Grassi vd., 1992). Görüldüğü gibi bu miktar Türkiye'nin enerji ihtiyacının iki katıdır.

3.3.3 Hava Kirliliğini Önlemede Tatlı-Sorgumun Rolü

Dünya'da birincil enerji ihtiyacının yaklaşık % 85'i fosil yakıtlara dayalı enerji sistemlerinden karşılanmakta olup, milyonlarca yıldır 180-280 ppm arasında değişen CO₂ seviyesi, günümüzde 360 ppm seviyesine çıkmıştır (Tolbert, 1992). Son 20 yılda ise atmosferik CO₂ konsantrasyonu %27 artış göstererek, dünya sıcaklığının 0,5 °C artmasına neden olmuştur. Bu kirliliğin devam etmesi halinde önümüzdeki yüzyılın sonunda dünya sıcaklığının 5 °C artacağı ve deniz seviyesinin de 1,8-2,4 m yükseleceği tahmin edilmekte olup, bunun da ciddi tehlikeler oluşturacağı açıktır (Bockris,1991).

Yılda yaklaşık olarak 26 milyar ton CO₂ insan etkisi sonucu (Antropojenik) atmosfere verilmektedir. Bu toplam miktarın yaklaşık % 80'nin orijini ise kömür, petrol gibi fosil yakıtların yakılması sonucudur. Dünyanın fosil yakıt kullanımından dolayı CO₂ emisyonunda son 40 yıl içerisinde dört kat bir artış olmuştur (Atakan,1992). Buna ilaveten özellikle tropikal bölgelerde yılda yaklaşık 6 milyar ton CO₂, orman alanlarının bozulması sonucu atmosfere verilmektedir. Görülüyor ki, global CO₂ seviyesindeki artışın gerçek nedeni fosil yakıtlardır. Fosil enerji kaynaklarının, dünya atmosferinde oluşturduğu hızlı kirlilik yükünün artışının bilincine varılması ile birlikte, birçok ülkede alternatif enerji kaynağı bulmaya yönelik çalışmalar yoğunlaşmış ve tarımsal kaynaklı ürünlerden enerji üretimi tekrar gündeme gelmiştir. Biyokütle olarak tarif edilebilen bu tarımsal yakıtların yanması ile yine CO₂ emisyonu olmasına karşın, CO₂ bitkilerin yetiştirilmesi sırasında atmosferden

fotosentez yoluyla geri alındığından denge sağlanmış olmaktadır.

Ülkemiz birincil enerji üretimini, % 36 linyit, % 20 odun, % 15 petrol, % 11 hidrolik % 9 atık ve % 6 taşkömüründen sağlamaktadır (Altaş vd., 1994). Linyitlerimizin % 69'u düşük kalorifik değere sahip olup, kükürt içeriği de yüksektir. Böylece hızlı gelişen nüfus artışına ve endüstrileşmeye bağlı olarak artan enerji tüketimine paralel olarak da hava kirliliği probleminde büyük artış görülmektedir.

Yapılan çalışmada, Tatlı-Sorgum olarak bilinen enerji bitkisinin, Türkiye'nin iklim ve toprak yapısı (25 milyon hektar kullanılabilir alan) gözönüne alınarak, bu bitkinin yaygın olarak kullanılması durumunda, hava kirliliğini azaltıcı etkisi ortaya çıkarılmıştır (Türe vd., 1995). Ayrıca, Tatlı-Sorgum ile Türk linyitleri, kalorifik değer ve emisyonlar açısından karşılaştırılarak, kömür yerine Tatlı-Sorgum kullanılması halinde kirliliğin ne kadar azalacağı hesaplanmıştır.

Daha önce ilk denemeleri yapılan ve oldukça olumlu sonuçlar veren Tatlı-Sorgum bitkisinin 9 çeşidi üzerinden alınan örneklerin yakıt analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar bazı önemli rezerve sahip Türk linyitleri ile beraber karşılaştırmalı olarak Tablo 3.3.3.2'de verilmiştir. Bu tablodan görüleceği üzere, Tatlı-Sorgumun hemen bütün çeşitleri içindeki kükürt oranı linyitlere göre yaklaşık 50 kat düşük bulunmuştur. Elde edilen bu veriler ile Tatlı-Sorgumun az miktardaki kükürt içeriğinin çevre kirliliği açısından büyük önem taşıdığı ve çevre dostu bir yakıt olarak kullanımına olanak verdiği açıkça görülmektedir. Ayrıca, Türk linyitlerinin yaklaşık % 69'unun 2000 kcal/kg'dan aşağı olduğu gözönüne alındığında, Tatlı-Sorgumun kalorifik değerinin de linyitlerden az olmadığı, aksine yaklaşık iki kat değere sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Bunlardan daha önemlisi, dünyanın karşı karşıya kaldığı en büyük problemlerden biri olan sera etkisinin başlıca nedeni olan CO₂ dengesinin Tatlı-Sorgum için sıfır olması ile, bu bitki ve genel olarak tüm biyokütle kökenli yakıtlar, fosil yakıtlara göre çok büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Bilindiği üzere, linyitlerimizin 1993 yılı tüketimi 47.340 bin ton olup, bunun sonucunda da

24,1 milyon ton CO₂ emisyonu gerçekleşmiştir. CO₂ emisyonu açısından Tatlı-Sorgum ile linyit kömürleri karşılaştırıldığında Tablo 3.3.3.1'de özetlenen değerler, bu farkı açıkça ortaya koymaktadır.

Tablo 3.3.3.1'de verilen değerler hava kirliliği açısından değerlendirildiğinde, biyokütlenin fosil yakıtlara göre çok daha avantajlı konumda olduğu ve zaten tükenmekte olan fosil yakıtlar yerine bunların kullanılmasının gerekli olduğu bir kez daha bilimsel olarak kanıtlanmış olmaktadır.

Tablo 3.3.3.1 Tatlı-Sorgum ile bazı linyit kömürlerinin CO₂ ve SO₂ emisyonları

T. Sorgum	g CO ₂ /ton	g SO ₂ /ton	Linyit	g CO ₂ /ton	g SO ₂ /ton
Brandes	1.635,7	2,6	Yatağan	1.796,7	78
Wray	1.595,4	0,8	Kemerburgaz	1.873,6	72
Rona	1.560,5	1,0	Seyitömer	2.024,0	22
Rio	1.628,0	2,2	Soma-1	1.763,7	82
M81E	1.621,8	1,8	Çan	2.181,7	122
MN1500	1.641,6	1,2	Soma-2	2.365,0	12
Dale	1.600,1	0,8			
Theis	1.648,5	2,6			
Keller	1.600,1	1,0			

Tablo 3.3.3.2 Tatlı-Sorgum ve bazı Türk linyitlerinin yakıt karakteristikleri

Yakıt Cinsi	Elementel Analiz % (Kuru Baz)				Üst Isıl Değer (Kcal/kg)	Kül %
	C	H	N	S		
Linyit						
Yatağan	49,00	4,80	0,70	3,90	3320,1	18,47
Kemerburgaz	51,10	4,90	0,80	3,60	3311,2	17,50
Seyitömer	55,20	5,20	1,20	1,10	4220,1	13,11
Soma-1	48,10	4,90	1,20	4,10	3898,8	24,00
Çan	59,50	4,80	1,30	6,10	4803,6	09,87
Orhaneli	50,68	4,17	0,50	1,65	3701,4	15,11
Soma-2	64,50	5,00	1,30	0,60	5073,0	11,97
Elbistan	47,36	3,57	1,78	5,82	2886,8	28,19
Tatlı-Sorgum						
Brandes	44,61	6,25	0,20	0,13	3992,3	03,17
Wray	43,51	6,10	0,12	0,04	4042,8	01,78
Rona	42,56	6,19	0,16	0,05	4046,4	01,58
Rio	44,40	6,22	0,39	0,11	4000,6	02,20
M81E	44,23	6,25	0,18	0,09	4110,6	01,59
MN1500	44,77	6,27	0,09	0,06	4078,1	01,63
Dale	43,64	6,33	0,16	0,04	3886,5	01,80
Theis	44,96	6,45	0,50	0,13	4032,2	03,70
Keller	43,64	6,31	0,19	0,05	4008,6	02,20

3.4 Biyokütle cinsi yakıtlar ile ilgili yapılan çalışmalar

Günümüzde modern biyokütle yakma teknolojileri konusunda çalışan tüm araştırmacılar, yakıt tipindeki değişiklikler, kalite ve nem içeriklerindeki farklılıklar, yakıt eldesi ve hazırlanmasındaki zorluklar ile uğraşmanın yanı sıra, fuel-oil, gaz ve kömür gibi birincil enerji kaynaklarından daha ucuz ve daha temiz bir enerji elde etme çabasındadırlar.

Yaptığımız araştırmalar sonucunda biyokütle ile kömür gibi birincil enerji kaynaklarının birim hacminden elde edilen enerji miktarları arasındaki fark nedeniyle, yakıt besleme sistemlerinin dizaynında sorunlar olduğu göze çarpmıştır. Değişik yakıtların enerji miktarları arasındaki farkları Tablo 3.4.1'de görebiliriz (La Nauze, 1987).

Tablo 3.4.1 Değişik yakıtların kütle ve hacimsel karşılaştırılması

Yakıt	Sabit enerji çıktısı için bağıl değerler		
	Özgül Ağırlık kg/m ³	Kütle	Hacim
Yarıkok	340	1,0	1,0
Kok	1100	2,4	0,8
Bagas	80	1,8	8,0
Pirinç kabuğu	150	2,0	4,4
Talaş	160	1,9	4,0
Odun Parçacıkları	80	1,8	2,0

Yukarıda ki tablodan da görülebileceği gibi, belirli miktarda ısı eldesi için gereken biyokütle hacmi, bu ısıyı verebilecek kömür hacminden 4-8 kat daha fazladır. Bu yüzden de, yakıt besleme sisteminde sorunlar oluşmaktadır.

Kömür, linyit ve kok yakan Akışkan yataklı yakma (AYY) sistemleri, birçok araştırmacı tarafından araştırılmış ve bu konu ile ilgili birçok yayın yapılmıştır. Ancak, biyokütle yanması ile ilgili temel araştırmalar henüz çok yeni olmakla birlikte, bu araştırmalar genellikle özel biyokütle cinsi yakıtlar hakkındadır. Şu andaki bilgi birikimi oldukça azdır. Mevcut olanlar ise, genel tecrübeler ve teknik bazı deneyler ile saptanmışlardır. Yaptığımız kaynak taraması sırasında, Tatlı-Sorgumun akışkan yataklı yakma sistemlerinde yakılması ile ilgili çalışmalara rastlanamamıştır.

1984'de Masson, biyokütleyi briketleyerek yakmaya çalışmış ve ortaya çıkan sorunları şöyle sıralamıştır:

- . Kararlı ve tam bir yanma için minimum sıcaklığın tanımlanması
- . Besleme hızındaki artışın vereceği ısı; Besleme sisteminde dengenin sağlanması
- . Karışımın karakteristik özelliklerinin belirlenmesi

La Nauze (1987), seçilmiş bazı biyokütle cinsi yakıtların (Turba kömürü, tahta ve tarımsal atıklar vb.) AYY sistemlerinde yakılması ile ilgili çalışmaları incelemiştir. Bu çalışmaları özetlemek istersek:

a) Turba kömürü:

200 MW'ın üstündeki sistemlerde turba kömürünün kullanımı oturmuş durumdadır ve bu sistemlerin çoğu dolaşımli akışkan yataklardır. Kullanılan turba kömürlerinde tipik olarak % 50 nem ve düşük ısı değeri (2150 kcal/kg) gibi özellikler saptanmıştır.

Kullendorf (1985) turba kömürünün yanmasının genel verimini incelemiş, % 0,3 oranında S için SO_x seviyesini 109 mgS/mJ olarak bulmuştur. Ca/S=3 oranında kireçtaşı ilavesiyle bu oranı yarıya düşürebilmiştir. 1985'de Beckner, turba kömürü gibi yüksek uçuculu kömürlerde, geniş oranda kalsiyum fazlalığına rağmen % 100 'lük kükürt tutumuna ulaşamadığını vurgulamıştır.

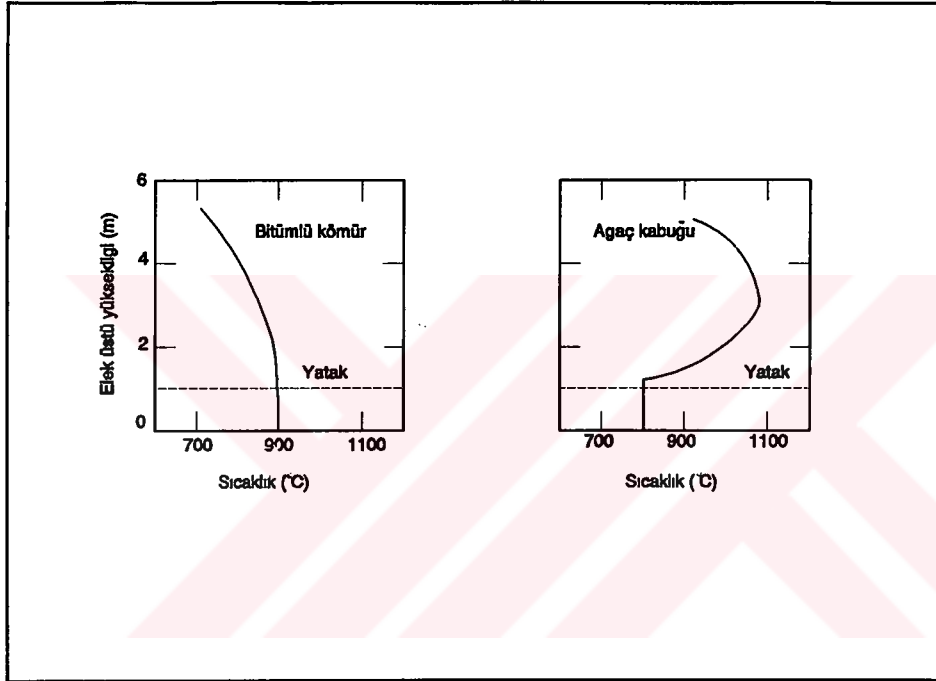
Chalmers Üniversitesi'ndeki akışkan yataklı yakma sisteminde Leckner (1985) tarafından gerçekleştirilen deneylerde, Ca/S oranı 4'den yüksek oranlarda tutulmuş yanmanın % 15'i yatağın dışında olduğu için ancak % 80 'lik bir kükürt tutumu sağlanabilmiştir. Diğer yandan, içinde kuru bazda % 2,4 azot içeren turba kömürünün yakılması sonucu 230 - 450 mg NO_2/m^3 oluşumu gözlenmiştir ($O_{2ref}=7\%$).

Hampartsoumian ve Gibbs (1980), 0 - 25 mm elenmiş turba kömürü kullanmıştır. Bu kömürde, yüksek uçucu ve karbon içeriği, yanma karakteristiğini olumlu yönde etkilemiştir. Yataktan kaçan uçucuların, serbest bölgede yandığını, buna rağmen, 750°C yatak sıcaklığı için % 30 hava fazlalığı gerektiğini belirtmiştir. Bu şartlarda, yanma veriminin kömürden daha düşük olduğunu vurgulamışlardır. İkincil hava ilavesi ile verimin ve yanmanın iyileştirilebileceği konusuna değinmişlerdir.

b) Ağaç Artıkları:

Ağaç artıklarının AYY sistemlerinde yakılması, en eski uygulamalardan biridir. Leckner et al.(1984) ile Andersson et al.(1985), kömür için dizayn edilmiş akışkan yataklı boylerde ağaç

kabuklarını yakmışlardır. Ön ısıtmalı hava ve ikincil hava ilavesiyle, kömürle aynı şartları yakalamak için çalışmalar yapmışlardır. Şekil 3.4.1'de bitümlü kömür ve ağaç kabuğunun yanması sonucu oluşan ısı dağılımındaki farklılığı görebiliyoruz. Bu şekil, ikincil hava ilavesi ile yatak üstünde oluşan yanmada, yüksek uçucu içeriğinin etkisini açıkça göstermektedir. Burada her özel yakıt için AYY sistemi dizaynının gerekliliği bir kez daha vurgulanmaktadır. AYY sistemi, hangi yakıt için dizayn edilmiş ise, o yakıt ile en verimli yanmayı gerçekleştirmektedir. Bunun yanında AYY sistemleri konvansiyonel sistemlere göre, en geniş yakıt yelpazesine sahip olan sistemlerdir.



Şekil 3.4.1. Yakıt cinsinin yatak sıcaklığı dağılımına etkisi

Bu çalışmada, ağaç atıklarında mineral ve alkali metal içerikleri oldukça fazla olduğundan, akışkan yatakta kirlenme, aglomerasyon ve korozyon oluştuğu vurgulanmaktadır.

b) Tarımsal atıklar:

Tarımsal atıkların boyutları, kompozisyonu ve elde edilme karakteristiklerinde büyük farklılıklar gözlemlendiği vurgulanmıştır (La Nauze,1987). Daha önce de belirtildiği gibi, AYY sistemi dizaynında, iyi bir analiz ve karakteristik özelliklerin iyi saptanması gerekmektedir.

Hollanda'da, APAS Temiz Kömür Projesi kapsamındaki AR-GE programı çerçevesinde, çeşitli biyokütle cinsi yakıtların AYY sistemlerinde yakılmaları üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

Bu çalışmaları aşağıda incelemiş bulunuyoruz:

1. Biyokütle-Kanalizasyon Atığı-Kömür (Yüksek ve Düşük Değerli) Karışımlarının Değişik Sistemlerde Yakılması (Unanimous-1, 1993).

Kömür yakma sistemlerinde, Biyokütle veya Kanalizasyon Atığı (KA) kullanımı sonucunda; yanma davranışı, emisyon, korozyon ve atık maddelerde çeşitli değişiklikler oluşabilmektedir. Yapılan çalışmalarda bu karışımın, en geniş kullanım alanı olan yakma sistemlerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırmalar, karışımın yakılması için gereken optimum şartları ve teknik olarak gerekli görülen proses düzenlemelerini ortaya koymak üzere pilot ve gerçek ölçekli sistemlerde uygulanmıştır.

Düşük ve yüksek sıcaklıkta pülverize yakıt yakma sistemleri ve akışkan yataklı yakma sistemleri, kömür/biyokütle veya kömür/KA karışımlarının yakılabilirliği açısından test edilmişlerdir. Ana yakıt olarak kömür kullanılmıştır. Evsel atıkların (KA), tarımsal enerji bitkileri (saman, tezek miscanthus) gibi iyi yandıkları gözlenmiştir. Farklı test donanımlarında, farklı yanma sistemlerindeki değişik kombinasyonlar, ana yakıtlar, ek biyogenik yakıtlar ve kömür/biyokütle karışım oranlarını incelemeyi planlamışlardır. Araştırmalarını, halen mevcut ve kullanılan yakma sistemleri üzerinde yoğunlaştırmışlardır. Böylece, mevcut sistemlerin, adı geçen karışımları yakabilmeleri için yapılması gereken değişiklikleri bulmaya çalışmışlardır.

2. Çeşitli Kömür/Biyokütle karışımli yakıt granüllerinin incelenmesi (Unanimous-2, 1993) :

Bu çalışma DMT/D tarafından yapılan yapılmıştır. Bu raporda CO₂ emisyonlarını azaltabilmek için çeşitli kömür-biyokütle karışımları üzerinde durulmuştur. Karışım maddesi olarak:

- | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|
| 1. S + KA | 3. S + L | 5. M + TK | 7. PL + KL | 9. KKA + TK |
| 2. S + TK | 4. M + KA | 6. M + L | 8. PK + KA | |

Bu karışımların oluşturulması sırasında elde edilen sonuçları şöyle gruplayabiliriz:

a) Saman, miscanthus ve linyit öğütülmesi:

S ve M, 10 mm'lik parçacıklar halinde öğütülmüş ve bu boyutta iken sürekli briketleme sağlanamamıştır. Homojenleşmeyi iyileştirebilmek için 0,5 mm'lik parçacıklar oluşturulmak istenmiş. Fakat, parçalama sırasında S ve M'un suyu ayrıştığı için öğütücüde sorunlar yaşanmış, öğütücünün ve milin sürekli temizlenmesi gerekmiştir. Bu yüzden endüstriyel uygulamalarda, kuru öğütmeyi önermemişlerdir. Linyit öğütülmesinde ise, herhangi bir sorun ile karşılaşılmamıştır.

b) Yukarıda sıralanan 8 temel yakıttan değişik karışım oranlarında 21 farklı yakıt granülü elde edilmiş, oluşturulan briketlerin bünye nemi 1,4-2,0 arasında olduğundan bir ön kurutma veya yakma esnasında ön ısıtmaya gerek duyulmuştur. Linyit yerine toz kömür kullanılan briketlerde ise bünye nemi 0,3-0,6 civarında olduğundan ön ısıtmaya gerek duyulmamış ve karışımın ısı değeri de, linyitli karışıma göre daha yüksek bir değere ulaşmıştır.

3. KA/Kömür karışımından oluşan biriketlerin akışkan yatakta yakılması (Unanimous-3, 1993) :

Bu çalışma, Fechner Company'e ait 10,8 MW gücündeki akışkan yatak sisteminde yapılmıştır. Bu sistemde, kurutulmuş KA için 100 m³, kireçtaşı için ise 60 m³'lük depolama tankları mevcuttur. Sistemde, ilave olarak, baca gazında, sürekli olarak O₂ ölçülmüştür. Uygulanan testleri şöyle sıralamışlardır:

- . Kömür yakılması sonucu oluşan baca gazı kirletici etkisinin ölçümü (zero-test)
- . Kömür/KA karışımının hazırlanması
- . Karışım yakılması sonucu oluşan emisyonların, zero-test sonuçları ile mukayesesi
- . Değişik karışım oranlarının denenmesi.

Yapılan testlerde, yüksek kül ergime sıcaklığına (1650°C) sahip 6150 kcal/kg ısı değeri olan

bitümlü kömür kullanılmıştır. Kömür ve kömür/KA karışımının yakılması sonucu oluşan emisyon ölçümleri karşılaştırıldığında, olumsuz bir etkinin oluşmadığını vurgulamışlardır. SO₂ miktarında % 5, NO_x miktarında % 21, CO miktarında ise % 43 oranında bir azalma gözlemişlerdir.

4. Kömür/Biyokütle karışımının dolaşimli akışkan yatakta yakılması (Unanimous-4, 1993) :

Araştırma kapsamında, Aalborg Ciseriv Int.A/S tarafından yapılmış olan çalışmalar şunlardır:

- . Dolaşimli akışkan yatak ile ilgili teknik ve ekonomik açılardan fizibilite çalışmaları
- . Yüksek sıcaklıkta kullanılacak malzemelerin seçimi
- . Test standının kurulması
- . Gaz ve partikül örnekleri için özel problemlerin geliştirilmesi

Yapılan testlerde % 50 kömür + % 20 odun + % 30 saman karışımı ile % 50 kömür + % 30 odun + % 20 saman karışımı denenmiştir. Dolaşimli akışkan yatak sistemlerinin, kömür yakan diğer sistemlere nazaran daha elverişli olduğu ortaya konulmuştur. Bu sistemler enerji maliyeti açısından incelendiklerinde, maliyetlerinin eşit olduğu ortaya çıkmıştır.

5. Düşük kaliteli Kömür/Biyokütle karışımının yakılması (Unanimous-5, 1993) :

ENEL/I tarafından yapılan bu çalışmada, ana yakıt olan kömür ile ağırlık olarak % 20 ve daha fazla oranda saman ve miscanthus karışımının yakılması araştırılmıştır. Miscanthus 5 mm. lik parçacıklar halinde doğranırken, saman değişik boyut ve formlarda denenmiştir. Uzunluğu 1-4 mm. arasındaki samanlardan 10 mm. çapında 50-120 mm. boyunda briketler hazırlanmıştır. Bunlara ilave olarak, parçalanmış saman ile kömürün çeşitli oranlardaki karışımlarının briketlenmesi de incelenmiştir. Fakat bu briketlerin yakılması ile ilgili deneyler yapılmamıştır. Sadece briketlenmesi üzerinde durulmuştur. Yapılan yakma deneylerinde hava fazlalık katsayısı 1,25 olarak alınmıştır.

Samanın beslenmesinde, helezonlu besleme sisteminde sorunlar olduğu bu çalışmada da gözlenmiştir. Bu yüzden; saman ve kömür, istenilen oranlarda bir ön karışıma tabi tutulmuştur. Fakat, karışım maddelerinin yoğunluklarındaki farklılık nedeniyle karışımın homojenliği bozulmuş, kararlı bir yanma sağlanamamıştır.

6. Kömür ile yoğunlaştırılmış biyokütlenin kaynamalı akışkan yatakta yakılmasının incelenmesi (Unanimous- 6, 1993) :

ECN/NL tarafından yapılan bu araştırmada, söz konusu karışımın yakılması ile ilgili yapılan çalışma sonucunda kül içeriğinin değiştiği vurgulanmıştır. Bunun ise, mevcut yakma sistemlerinin kül boşaltma düzeneklerinde sorun yarattığı belirtilmiştir.

7. Ormansal ürün olan atık biyokütle cinsi yakıtlar ile kömür karıştırılarak oluşturulan karışımların, dolaşımli akışkan yatakta yakılması (Unanimous- 7, 1993) :

Bu çalışmalar INETI/P tarafından yapılmıştır. Biyokütle cinsi yakıt olarak ökaliptus ve çam seçilmiştir. Yapılan deneylerde, 1 mm'nin altındaki taneciklerin yataktan sürüklendiği, yanma için gerekli zamanın sağlanamadığı, bu yüzden de tam yanmanın gerçekleşmediği vurgulanmıştır. Bu çalışmada da, yakıt besleme sisteminde sorunlar oluştuğuna dikkat çekilmiştir. Aynı şartlarda yaptıkları kömür deneylerinde elde ettikleri sonuçları, karışım yakma deneylerinin sonuçları ile karşılaştırdıklarında, olumlu sonuçlar elde etmişler, CO, SO₂ ve NO_x değerlerinde düşme saptamışlardır.

Odun ve tarımsal atıkların, ızgaralı yakma sistemlerinde yakılmaları ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır. Bu sistemlerde yakıldıklarında, uçucu madde miktarı yüksek olan artıklar yüksek hava fazlası gerektirirken daha az reaktif olanlar kömür veya fuel-oil gibi yardımcı bir yakıt ile yakılabilmektedir. Izgaralı yakma sistemlerinde tarımsal artıkların yakılmasında zorluklar çıkmaktadır. Artıkların yakılmasında karşılaşılan diğer sorunlar ise partikül büyüklüğü ve birim hacimdeki ısı değeridir. Partikül boyutları küçük olan artıklar ızgara aralıklarını kapayarak yanma havasının geçmesini engellemektedir. Dökme yoğunluğu düşük olan artıklardan elde edilebilecek birim hacmindeki enerji miktarında düşük olmaktadır. Atakan (1989) yaptığı çalışma sonucunda, bu sorunları kısmen giderebilmek için artıkların preslenerek daha yoğun bir yakıt haline getirilmesi gerektiği sonucuna varmıştır.

4. YAKMA SİSTEMLERİ

4.1 Yanma Olayı

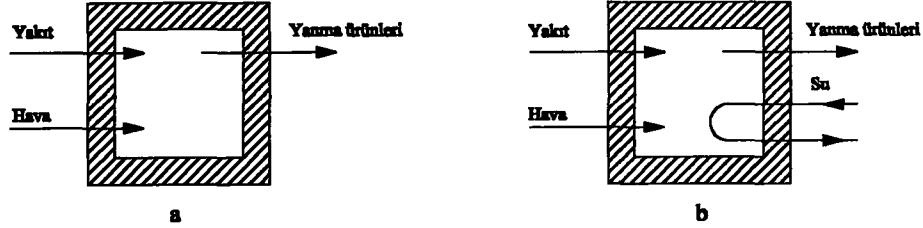
Yakıt içerisindeki yanabilir bileşenlerin, havanın oksijeni ile reaksiyona girmesine yanma denir. Yanma esnasında ısı açığa çıkar. Yakıtlar genellikle yanabilen elementler olarak karbon, hidrojen ve bunların bileşikleri ile az miktarda kükürt ve yanmayan bileşen olarak azot, su ve kül içerirler. Yanma süreçlerinin büyük bir bölümünde gerekli oksijen havadan alınır. Yanma süreçleri incelenirken havanın hacimsel olarak % 79 azot ve % 21 oksijenden oluştuğu varsayılır. Bu bileşimde olan havanın molekül ağırlığı 28.851 olup, içerisinde 1 mol oksijene karşılık 3,76 mol azot bulunur. Yanma prosesinde yakıt içindeki bütün yanabilir bileşenler tam olarak oksitlenir ve CO_2 , H_2O , SO_2 v.b. şeklindeki ürünlere dönüşürse yanma tamdır. Tam yanma için gerekli olan minimum hava miktarına stokiometrik hava miktarı ve bu şekilde gerçekleşen yanmaya ise teorik yanma denir. Eksik yanma enerji kaybı ile sonuçlandığından uygulamada yanmanın tam olarak gerçekleşmesine çalışılır. Bunun içinde çoğunlukla teorik hava miktarından daha fazla havanın kullanılması zorunludur. Gerekinden fazla hava bir taraftan kayıpların artmasına, diğer taraftan da ocak boyutlarının aşırı büyümesine neden olduğu için hava fazlalığını belirli bir minimum dolayında tutmak zorunluluğu vardır. Hava fazlalık katsayısı; yakıtın cinsine, yapısına, yakma düzeneğinin dizaynına göre değişik değerler alır.

4.2 Kömür Yakma Sistemleri

Yakma sistemlerinden kaynaklanan partikül ve gaz biçimindeki (toz, CO , CO_2 , SO_2 , NO_x , C_mH_n vb.) çeşitli kirletici emisyonlar; hava, toprak ve su kirliliği gibi çevre sorunlarına neden olmaktadır. Yanma kayıplarının azaltılması, diğer bir ifadeyle yanma veriminin artırılması, yanmadan kaynaklanan CO , NO_x , is, duman, kurum biçimindeki partiküllerin (C_mH_n) ve yakıtın içerdiği kül, kükürt, azot'un neden olduğu yakıttan kaynaklanan toz, SO_2 , NO_x biçimindeki emisyonların azaltılması ile yakıt ve işletme koşullarına bağlı olarak yanma mekanizmasının bilinmesini gerektirmektedir. Yanma mekanizmasının analizi ile sağlanacak teknik bilgiler, uygun yakma sistemi tasarımı, yanma kontrol sistemi oluşturulması, temiz ve verimli yanma ile ilgili yakıt, tasarım ve işletme standartlarının hazırlanmasında kullanılabilir.

4.2.1 Yakma Sistemlerinin Karşılaştırılması

Yakma sistemi tasarımı, yakıta yönelik olarak yapılmaktadır. Uygun tasarım ve işletme; yakıt ve yanma özelliklerinin bilinmesini ve bu özelliklerin yanma mekanizmasına olan etkilerinin analizini gerektirir.



Şekil 4.2.1 Yanma Odasının Genel Görünümü

Şekil 4.2.1'de görüldüğü gibi tamamen izoleli bir yanma odasını ele alalım. Şekil 4.2.1a'da yanma ürünlerinin tamamı yatak sıcaklığında dışarı çıkacak ve yakıt/hava oranına bağlı olarak açığa çıkan ısıyı dışarıya taşıyacaktır. Şekil 4.2.1b'de ise yanma ürünlerinin çıkış sıcaklığı yaklaşık 200-300 °C civarındadır. Yatak dizaynında önemli bir parametre olan ısı değiştirici borulara aktarılacak ısı miktarı, boruların yüzey alanına, ısı transfer katsayısına ve yatak ile su arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Eğer yüzey alanı yeterli değil ise yanma ürünlerinin sıcaklığı artar, daha fazla hava miktarına gerek duyulur, bunun sonucunda ise verim azalabilir. Yatak ile su boruları arasındaki yüzey film katsayısı, 60-80 W/m²K arasında değişebilir. Bu değer artışı yatak boyutunun azalmasını sağlamaktadır.

Yakma sistemleri, yakıt tane büyüklüğüne ve yanma sırasında yakıt davranışına bağlı olarak yüzeyde (ızgarada) yakma, hacimde yakma ve akışkanlaştırılmış ortamda (akışkan yatakta) yakma olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Yakma sistemleri arasındaki farklar Tablo 4.2.1'de gösterilmektedir.

4.3 Akışkanlaşma ve Akışkan Yataklı Yakma Sistemleri

4.3.1 Akışkanlaşma

Bir kabın tabanına üzerinde delikler bulunan bir levha koyalım ve levhanın üzerine küçük katı taneciklerini serbest olarak yığalım. Kabın içinden bir akışkan, örneğin hava geçirelim. Düşük akış hızlarında hava katı tanecikler arasındaki boşluklardan geçer. Bu davranıştaki yatağa "Sabit Yatak" denir. Havanın geçişi sırasında belirli bir basınç düşümü olur ve hava hızı arttıkça basınç düşümü de artar.

Akışkan hızını yavaş yavaş arttırarak yatağın davranışını gözleyebiliriz. Tanecikler birbirlerinden ayrılmaya, bazıları titreşmeye başlar. Bu tip yatağa "Genleşmiş Yatak" adı verilir. Akışkan hızı daha da arttırılırsa, aşağıdan yukarıya doğru akışkan içerisinde tanecikler asılı kalırlar. Akışkan ile katı tanecikler arasındaki sürtünme kuvveti taneciklerin ağırlığına eşitlenir ve yatağın herhangi bir noktasındaki basınç düşümü yaklaşık olarak o bölümdeki katı tanecikler ile akışkanın ağırlığına denk olur. Yatak minimum akışkanlaşma durumundadır. Bu noktadaki hava hızına "Minimum Akışkanlaşma Hızı" denir ve akışkan yataklı sistemlerin en önemli tasarım ve işletme parametresidir. Kullanılan akışkan sıvı ise, minimum akışkanlaşma hızının üzerindeki hızlarda yatak düzgün olarak genişler ve kabarcıklaşma ya da kararsızlık görünmez, yatak düzgün akışkanlaşmıştır. Yatak basınç düşümü akışkan hızı artsa da sabit kalır. Kullanılan akışkanın gaz olması halinde minimum akışkanlaşma hızı aşıldığında kararsızlık görülebilir. Akışkan hızının artması ile birlikte kabarcıklaşma başlar, yatak yüksekliği fazla değişmez. Bu tip yataklara "Kabarcıklı Akışkan Yatak" ya da "Heterojen Olarak Akışkanlaşmış Yatak" denir. Yatak yüksekliğinin yatak çapına göre büyük olduğu durumlarda "Yığılma" denilen olay meydana gelebilir. Dağıtıcı elekte akışkanın deliklerden geçmesi ile oluşan kabarcıklar yatak yüzeyine erişmeden birleşirler ve üzerlerinde kalan malzemenin alt taraftaki malzemeden ayrılmasına neden olurlar, bu istenmeyen bir durumdur, verimin ve ısı transferinin kötüleşmesine neden olur. Akışkan hızı daha da artarsa bazı küçük parçacıklar terminal hızlarına erişirler ve sistemi terk ederler. Bu duruma da taşınım evresi denir. Malzeme miktarı azalır ve yerine yenisinin konması gerekir. Yatak malzemesi azaldığı için de basınç düşümü, yeni malzeme eklenmezse düşmeye başlar. Akışkanlaşmanın düzgün veya kabarcıklı olması katı taneciklerinin ve akışkanın özelliklerine bağlıdır. Yatak geometrisi, gaz akışkan hızı, dağıtıcı elek, yatak içi bölme, ısı

değiştiriciler, taneciklerin karışma hızına, kabarcıkların büyüklüğüne ve heterojenliğinin derecesine etki ederler (Urkan vd, 1986).

İyi bir akışkanlaşma için şu özellikler aranabilir,

1. Düşük parçacık yoğunluğu,
2. Küçük parçacık büyüklüğü,
3. Homojen parçacık büyüklüğü, dağılımı,
4. Küreye yakın parçacıklar,
5. Büyük akışkan yoğunluğu.

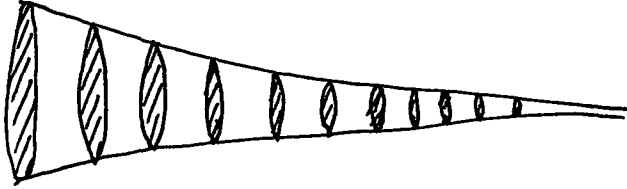
4.3.2 Akışkan Yataklı Yakma Sistemleri

Akışkan yatak, yatak malzemesi ile kömür parçacıklarının bulunduğu ve yanmanın büyük bir kısmının tamamlandığı yer olan aktif yatak ile yoğun fazın sona erdiği noktanın üstünde kalan ve yataktan akışkanın sürükleyebildiği katı taneciklerin bulunduğu ve bazen yanmanın da devam ettiği serbest bölge'den meydana gelmektedir (Kunii ve Levenspiel, 1977).

Akışkan yataklar, kimya ve metalurji endüstrisinde sağladıkları yüksek ısı ve kütle transferi nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Yüksek kaliteli fosil yakıtların azlığı ve pahalılığı ayrıca yanma gazlarının atmosfere bırakılmadan önce hava kirliliğini azaltıcı yönde önlem alınması konusunda zorunlulukların getirilmesi akışkan yataklı yakma sistemlerine karşı ilginin artmasına neden olmuştur (Atakül vd, 1993).

Akışkan yataklı sistemlerde altdan verilen hava ile aktif yatak içerisindeki kömür tanecikleri serbestçe hareket edebilmekte ve yanmaları için gerekli oksijen ile çok iyi temas olanağı bulabilmektedirler. Klasik sistemlerde ise kömürle oksijenin teması iyi olmamaktadır. Ayrıca akışkan yataklarda kömür taneciklerinin serbestçe hareket etme olanağı neticesi homojen bir sıcaklık dağılımı da sağlanmaktadır.

Tablo 4.2.1 Yakma sistemleri arasındaki farklar

Parametreler	Yakma Sistemleri		
	Yüzeyde Yakma (Izgara)	Akışkan Ort. Yakma (AYY)	Hacimde Yakma (Brülör)
Yakıt Tane Büyüklüğü			
Tane hareketi	Yüzeyde hareketsiz	Yoğun Türbülanslı	Hacimde askıda
Uygulama	Eski	En yeni	Yeni
Yakıt	Kömür	Her türlü yakıt	Gaz,sıvı,toz kömür
Yakıt kapasitesi	Düşük	Orta	Yüksek
Yatırım Maliyeti (izolasyon)	Daha yüksek	Yüksek	Düşük
SO ₂ kontrolü	Çok sınırlı	Etken kontrol	Sınırlı
NO _x kontrolü	Çok sınırlı	Etken kontrol	Sınırlı
Partikül kontrolü	Çok sınırlı	Yüksek	
Isı depolama özelliği	Sınırlı	Çok yüksek	Sınırlı
Yakıt kontrolü	Sınırlı	İyi	Çok iyi
Isı transferi	Çok sınırlı	Çok yüksek	Sınırlı
Kütle transferi	Çok sınırlı	Çok yüksek	Sınırlı
Yatak sıcaklığı	Yüksek	En düşük	Yüksek
Yanma yoğunluğu*	Düşük	Yüksek	Daha yüksek
Yanma verimi	Düşük	Yüksek	Daha yüksek
Yatak ebatları	En büyük	Küçük	Büyük

* Birim hacimden çekilen ısı enerjisi

Yatak, başlangıçta 500°C'a kadar ön ısıtmaya tabi tutulur. Yakma havası dağıtıcı eleğin altından üflenirken sisteme kömür beslenmekte (yatak bölgesinin herhangi bir yerinden) ve yatak sıcaklığı, yakıtın tutuşmasına bağlı olarak hızla yükselmektedir. Bu andan itibaren ön ısıtma sistemi devre dışı bırakılmakta ve sıcaklık yükselmesini kontrol etmek için ısı değiştiriciler devreye alınmaktadır (Davidson vd., 1985). Açığa çıkan ısı aktif yatakta ve/veya serbest bölgede taşıyıcı akışkana aktarılmaktadır. Yatak malzemesi olarak kum, kül, kireçtaşı ve dolomit gibi inert partiküller kullanılmaktadır (Vural 1989; Ekinci vd., 1991; Hamdullahpur vd., 1994).

Akışkan yataklı sistemler genel olarak 3 ana gruba ayrılır:

- a) Atmosferik basınçta çalışan kabarcıklı akışkan yataklar;
- b) Sirkülasyonlu akışkan yataklar;
- c) Basınçlı akışkan yataklar.

4.3.2.1 Akışkan Yatağın Avantajları

Akışkan yataklı kazanları; yanma, kazan dizaynı ve çevre avantajları yönünde incelemek mümkün olabilir (Dry ve La Nauze 1990; Nelkin ve Dellefield 1990; Snayd, 1984; Cohen ve Johnson, 1984; Ekinci ve Atakül 1994).

4.3.2.1.a Yanma avantajları

1. Yanma verimini etkileyen faktörlerin başında yanma bölgesinden sürüklenen küçük taneciklerin miktarı gelmektedir. Siklonlarla tutulan taneciklerin toplanarak yatağa geri beslenmesi yolu ile yanma verimi çok artabilir. Tanecik boyut dağılımı, kömür besleme ve akışkanlaştırma hızı kontrol edilebilen faktörlerdir.
2. Yanma, daha düşük hava fazlalık katsayısı ile gerçekleştirildiğinden kazandan ayrılan yanma ürünleri azalır ve dolayısıyla ısı verim artar.

3. İnert malzemelerin şiddetli türbülansı nedeniyle yatak içinde sıcaklık dağılımı üniform olup ısı transfer katsayısı yüksektir.

4. Kullanılan yakıt, yatak malzemesinin çok az bir yüzdesini (yaklaşık % 5) oluşturduğundan yatak sıcaklığı oldukça karardır.

4.3.2.1.b Kazan Dizayn Avantajları

1. Birim hacmin transfer yüzeyi büyük olduğundan yüksek (300-500 W/m²K) ısı transfer katsayıları sebebiyle yanma odası hacmi, klasik sistemlere göre daha küçüktür.

2. Yanma odası hacmi küçük olacağından ilk yatırım masraflarında düşüşler olabilir.

3. Döner ya da titreşimli ızgaralar gibi yapım yönünden pahalı, işletme yönünden karmaşık düzeneklere gerek yoktur.

4. Yatak sıcaklığının, kül ergime sıcaklığının altında tutulmasıyla külün ergimesi (kül ergimesi 1100 °C' da başlar) önlenir. Külün katı, kolay ezilebilir şekilde ayrılması ile ısı transferi yüzeylerinin erozyonu azaltılabilir. Klasik pülverize yakıt yanmada (PK) 1500 °C civarındaki alev sıcaklığında kül parçacıkları sinterlenerek erozyona sebep olur. Kül parçacıkları, kömür taneciklerinin boyutlarına, külün fiziksel özelliklerine (erime noktası) ve herhangi bir tanecik sıcaklığında açığa çıkma durumuna bağlı olarak 1100 °C üzerindeki sıcaklıklarda katı hale gelebilir. Buna ilave olarak asid gazların emisyonlarının azaltılması maksadıyla 950 °C ' dan düşük sıcaklıkta çalışmak gerekir. Bu sıcaklıklarda kömürdeki vanadyum, koroziif, alkali metal tuzları kül içinde kaldığı için, baca gazı içinde bulunmazlar.

5. Yakıt değişimindeki tolerans neticesinde klasik sistemlerde yanmayan çeşitli özellikte kömürlerin, endüstriyel ve tarımsal atıklar gibi farklı yakıtların yakılması mümkün olabilir.

6. Yakıt hazırlama giderleri düşüktür. Yakılan kömürün tane büyüklükleri 0-25 mm arasında değişmektedir. Kömürün bu büyüklükte hazırlanması kuşkusuz bir harcama gerektirmektedir.

Ancak pulverize yakıcılarda kömürün % 70'inin 0.0075 mm'den daha küçük olacak biçimde öğütülmesi gerektiği düşünüldüğünde, akışkan yatakta yakıt hazırlamanın daha ucuza geleceği anlaşılr.

4.3.2.1.c Çevre Avantajları

1. Yatak sıcaklığının 750-950 °C arasında gerçekleşmesi, kireçtaşı ve dolomitin SO₂'yi en iyi şekilde tutabildiği düzey olup yüksek kükürtlü kömürlerin kirlilik yapmadan verimli şekilde kullanılmasını sağlar. Deneysel veriler, yakılan kömür cinsine bağlı olarak, optimum sıcaklığın 850 °C civarında olduğunu göstermiştir. Sıcaklığın 900 °C' dan yüksek olduğu durumlarda ise SO₂'nin tutulma verimliliği önemli ölçüde azalır.
2. Yatak sıcaklığı (750-950 °C); NO_x oluşumunun altında olduğundan NO_x yayılımının çevre kirliliği açısından kabul edilebilir bir düzeyde kalmasını sağlar. Ayrıca serbest bölgede ikincil hava verilerek NO_x oluşumu daha da azaltılabilir.
3. Çevre kirliliğinin kontrol altında tutulabilmesi yakma ünitelerinin (termik santrallerin) şehir yakınına kurulmasına imkan sağlamaktadır. Bu suretle, elektrik üretimi, ısıtma ile kombine edilebilmekte ve yakıt daha yüksek verimle değerlendirilebilmektedir.
4. Yakıt olarak endüstriyel ve tarımsal atıkların kullanılması nedeniyle çevredeki atıkların azaltılmasını ve enerjinin ucuza elde edilmesini sağlar.

4.3.2.2 Akışkan Yatağın Dezavantajları

1. Kömür ve kireçtaşı hazırlama tesisleri, siklon tutucular, vantilatörler gibi önemli ilk yatırım ve işletme masrafları vardır.
2. Yataktaki basınç kaybı işletme masraflarını artırır.
3. Kül oranları yüksek ve yanma sonucunda tanecik boyutlarında küçülme olmayan kömürlerde

masraflara ve verim kaybına neden olur.

4. Yatağın ısı kapasitesinin yüksek olmasından dolayı yük kontrolü zor olabilir. Modüler yapı yataklar kullanılabilir.

5. Tanecikler akışkanlaştırma esnasında yatak yüzeyi ve ısı taşıyıcı borulara çarparak korozyona sebep olabilir.

6. Mutlaka otomatik kontrol sistemi gerektirir.



5. LİNYİT VE TATLI-SORGUM NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI VE ANALİZLERİ

5.1. Deneylerde Kullanılan Numuneler

Biyokütleden enerji eldesi amacıyla Tübitak Marmara Araştırma Merkezi arazisi içerisinde bir alana "Sweet Sorghum" ya da "Tatlı-Sorgum" adı ile bilinen, yüksek verim potansiyeline sahip C₄ tipi yıllık bir enerji bitkisinin tohumları Amerika Tarım Bakanlığı ve İtalyan Araştırma Kurumu A.Biotec'den getirilen 9 farklı çeşidine ait tohumlar ekilmiştir. Ekim, aynı sıradaki bitkiler arasındaki uzaklık 10 cm ve iki sıra arasındaki uzaklık 70 cm olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ekim için kullanılan arazinin toprak analizleri T.C. Karayolları 18. Bölge Müdürlüğü laboratuvarında yaptırılmış olup sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Toplam Azot (N) (%)	0,6	Fosfor (kg/ha)	0,0
Toplam Tuz (%)	0,04	Kireç (%)	4,0
Organik Madde (%)	1,21	Elektriksel İletkenlik (mmhos/cm)	1,52

Toprak, besin maddelerince çok fakir, su geçirgenliği çok hızlı olan % 10 kum, %13 kil ve % 76 siltten oluşmaktadır. Böyle bir toprakta yetiştirilen bu bitkiye sadece tohum ekiminden önce bir defaya mahsus olmak üzere 3 kg/200 m²'ye azot gübresi, toplam olarak da m² ye 120 mm olacak şekilde sulama yapılmıştır. Ekilen Tatlı-Sorgum bitkilerinin hasatı yapıldıktan sonra Marmara Araştırma Merkezi Gıda ve Soğutma Teknolojileri Bölümü pilot tesisinde bulunan kırıcı ile parçalanmıştır. Parçalama işleminden sonra bünye suyunun alınması amacıyla 150 kg/cm² basınç uygulanmıştır. Suyu alınmış biyokütle parçaları ortam sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

Deneylerde kullanılan linyit, TEAŞ'a ait Bursa-Orhaneli Termik Santrali'nden alınmıştır. Söz konusu kömür çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra <0.5; 0.5-1; 1-2; >2 mm elek aralıklarında elenmiş ve naylon torbalarda saklanmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda, 1-2.36 mm aralığında elenen kömürde kararlı bir yanma sağlandığı saptanmıştır (Ağabay, 1987). Bu bilgi gözönünde tutularak, deneylerimizde 1-2 mm aralığında elenmiş olan kömürler kullanılmıştır.

Yatak malzemesi olarak kullanılan kuartz kumu, 0.5-1 mm aralığında elenerek kullanılmıştır.

5.2 Numunelere Uygulanan Analizler

Kurutularak 250 μ m'nin altına düşürülen biyokütlenin ve kömürün özelliklerini belirlemek amacıyla analizler, TS ve ASTM standartlarına uygun yapılmıştır. Analizler TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü (ESÇAE) Kömür Analiz Laboratuvarında aşağıda belirtilen aletlerle standartlara uyularak yapılmıştır.

KISA ANALİZ: Fisher Coal Analyzer-Model 490 ile ASTM 3172'ye uygun olarak otomatik programda,

TOPLAM KÜKÜRT: Sulphur Determinator-LECO S.C.32 ile oksitleyici ortamda kömürü yaklaşık 1370 °C'da yakarak,

ÜST ISIL DEĞER: LECO-AC 200 Otomatik Kalorimetre'de,

ELEMENTEL ANALİZ (%C, %N, %H) TAYİNİ: TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi Kimya bölümünde Carlo-Erba marka elementel analiz cihazı ile tayin edilmiştir.

Bu analiz değerleri Tablo 5.2.1 ve 5.2.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2.1 Orhaneli Linyiti (1.00-2.00 mm arası) elementel analiz değerleri

	Elementel Analiz (%)						
	C	H	N	S	O	Kül	W
Kuru Baz	50,68	4,17	0,50	1,65	27,89	15,11	–
Orijinal Baz	39,37	3,24	0,39	1,28	21,67	11,73	22,32

% S_{kal} = 4,72 (kuru baz) ; 3,67 (orijinal baz)

Isıl değer = 3701,4 kcal/kg

Tablo 5.2.2. Tatlı-Sorgum (0.5-1.00 mm arası) elementel analiz değerleri

	Elementel Analiz (%)						
	C	H	N	S	O	Kül	W
Kuru Baz	43,74	5,29	0,80	0,18	43,22	6,77	--
Orijinal Baz	40,47	4,89	0,74	0,17	40,00	6,26	7,47

% S_{kül} = 1,41 (kuru baz) ; 1,30 (orijinal baz)

Isıl değer = 3870,8 kcal/kg

Tablo 5.2.1 ve Tablo 5.2.2 'deki oksijen miktarları ile orijinal baz değerleri aşağıdaki (5.2.1) ve (5.2.2) nolu bağıntılar ile hesaplanmıştır.

$$\%O = 100 - (\%C + \%H + \%N + \%S + \%Kül) \quad 5.2.1$$

$$\% \text{ Orijinal Baz} = \% \text{ Kuru Baz} * \left(\frac{100 - \%W}{100} \right) \quad 5.2.2$$

6. TEORİK YANMA HESAPLARI

Yanma hesaplarında yanma reaksiyonu denklemlerinde teorik oksijen ihtiyacı esas alınır. Tablo 6.1'de hesaplamalarınızda kullanacağımız yanma denklemleri verilmiştir. Bu bölümdeki bütün yanma hesapları Tablo 6.1'de verilen kimyasal denklemlere dayandırılmıştır. Bu denklemler sadece reaksiyona hangi elemanların katıldığını göstermekle kalmaz aynı zamanda hangi moleküler oranlarda katıldıklarını da gösterir.(Onat vd.,1988).

Tablo 6.1. Yanma denklemleri

YAKIT	Mol.Ağırlığı	REAKSİYON
Karbon	12	$C + O_2 \rightarrow CO_2$
Hidrojen	2	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
Kükürt	32	$S + O_2 \rightarrow SO_2$

6.1. Yakma Havası Miktarının Bulunması

Yakıtlarda yanabilen elemanlar sadece karbon, hidrojen ve kükürt olduğundan, bu yakıtların yakılabilmeleri için gereken oksijen ve hava miktarları Tablo 6.1'de verilen yanma denklemleri yardımı ile bulunabilir. Burada hatırlanması gereken kabuller, yanma reaksiyonuna giren bütün gaz reaktant ve ürünlerin ideal gaz olduğu, 1 kmol gazın 22.4 Nm³ hacim işgal ettiği ve havanın hacimsel olarak %79 azot ve % 21 oksijenden oluştuğudur. Buna göre elementel analizi bilinen 1 kg yakıtın yanabilmesi için gerekli teorik hava miktarı ki, buna "teorik özgül hava miktarı" adı da verilir, aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$v_{ho} = \frac{100}{21} \left[\frac{22,4}{12} C + \frac{11,2}{2} \left(H - \frac{O}{8} \right) + \frac{22,4}{32} S \right]$$

$$v_{ho} = 8,89 C + 26,7 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 3,34 S$$

6.1.1

Teorik hesaplamalarda kullanılacak olan analiz değerleri Bölüm 5.2’de verilmektedir.

Küldeki kükürt miktarı bilindiğine göre toplam kükürt içindeki yanar kükürt ($\%S_{\text{yanar}}$) miktarı (6.1.2) nolu bağıntı yardımıyla bulunabilir ve yapılacak yanma ürünü hesaplamalarında toplam kükürt yerine bu değer kullanılabilir.

$$\% S_{\text{yanar}} = \% S - \left(\frac{\% S_{\text{kül}} * \% \text{kül}}{100} \right) \quad 6.1.2$$

(6.1.2) bağıntısına göre , orijinal bazda hesaplanan değerler şöyledir:

$$\text{Linyit için} \quad \% S_{\text{yanar}} = 0,7277$$

$$\text{Sorgum için} \quad \% S_{\text{yanar}} = 0,07823$$

Deneylerde kullanılan linyit ve Tatlı-Sorgumun elementel analiz değerleri belli olduğuna göre, (6.1.1) bağıntısına göre birim kg. yakıt için gereken teorik özgül hava ihtiyacı hesaplanabilir:

Linyit için:

$$v_{\text{ho}_L} = 8,89 * 0,3935 + 26,7 \left(0,0324 - \frac{0,2167}{8} \right) + 3,34 * 0,00727$$

$$v_{\text{ho}_L} = 3,666 \text{ Nm}^3 \text{ hava / kg linyit}$$

Tatlı-Sorgum için:

$$v_{\text{ho}_S} = 8,89 * 0,4047 + 26,7 \left(0,0489 - \frac{0,40}{8} \right) + 3,34 * 0,0007823$$

$$v_{\text{ho}_S} = 3,571 \text{ Nm}^3 \text{ hava / kg linyit}$$

Yukarıda hesaplanan hava miktarları, daha önce de kısaca ifade edildiği gibi, teorik bir değerdir. Pratikteki yanma olayında, yakıtın ve ocağın cinsine göre bir miktar hava yakıt ile temas etmez ve yanma olayına katılmadan bacadan gider. İşte bu nedenle gerçek bir yanma için yukarıda bulunan teorik miktardan daha fazla hava göndermek gerekir. Gerçek hava miktarı v_h ile gösterilirse n birden büyük bir katsayı olmak üzere,

$$v_h = n * v_{ho} , \quad n > 1 \quad 6.1.3$$

yazılabilir. n katsayısına hava fazlalık katsayısı denir. Teorik yanma halinde n=1 olacaktır.

6.2. Yanma Ürünleri Miktarlarının Bulunması:

Yanma ürünleri de Tablo 6.1'de verilen yanma denklemleri ve yakıtın elementel analizi ile bulunabilir. Teorik tam yanma halinde, yanma ürünleri içindeki gaz bileşenleri CO₂, SO₂, H₂O ve N₂ olacaktır. Yakıtın elementel analizi bilindiğine göre yanma ürünleri hacimleri:

$$v_{CO_2} = \frac{22,4}{12} C \quad 6.2.1a$$

$$v_{SO_2} = \frac{22,4}{32} S \quad 6.2.1b$$

$$v_{H_2O} = \frac{22,4}{2} H + \frac{22,4}{18} W \quad 6.2.1c$$

$$v_{N_2} = 0,79 v_{ho} + \frac{22,4}{28} N \quad 6.2.1d$$

Bağıntıları ile hesaplanabilir.

Yukarıdaki bağıntılarda v değerleri 1 kg yakıt yakılması sonucunda ortaya çıkan gaz hacimlerini Nm³ cinsinden ifade eden özgül gaz miktarlarıdır. İndisler özgül gaz miktarlarının ait oldukları gazları göstermektedir. Toplam teorik özgül baca gazı miktarı v_{go} (Nm³/kg yakıt) ile gösterilirse:

$$v_{go} = 8,89C + 21,1 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 3,34S + 0,8N + 1,244(W + 9H) \quad 6.2.2$$

şeklinde bileşenlerin toplamı olarak bulunur. Çoğu zaman yakıt içindeki azottan gelen 0.8N terimi ihmal edilir. Pratikte tam yanma belirli bir n hava fazlalık katsayısı ile gerçekleştirilebildiğinden, hava fazlalığı ile tam yanma halinde (n-1)v_{ho} kadar fazla hava reaksiyona girmeden doğrudan yanma ürünlerine geçer. Bu durumda gerçek özgül baca gazı miktarı için,

$$v_g = v_{go} + (n-1)v_{ho}$$

6.2.3

bağıntısı yazılabilir.

Yukarıdaki yanma ürünleri miktarlarının bulunmasında havanın getirdiği nem ihmal edilmiştir.

(6.2.1.a, b, c, d) bağıntıları yardımı ile birim kg. linyit ve Tatlı-Sorgum (TS) için hesaplanan yanma ürünleri hacimleri Tablo 6.2.1.a' da gösterilmiştir.

Tablo 6.2.1.a Linyit ve Tatlı-Sorgumun Yanması Sonucu Oluşan Baca Gazları.

YANMA ÜRÜNÜ	LİNYİT (Nm ³ /kg linyit)	TATLI-SORGUM (Nm ³ /kg sorgum)
CO ₂	0,734907	0,75544
SO ₂	0,005094	0,000548
H ₂ O	0,64064	0,64064
N ₂	2,89937	2,82701
Özgül Baca Gazı Hacmi	4,280013	4,223658

Akışkan yataklı yakma sistemimizde % 85 linyit + % 15 TS karışımının yakıldığı durum için yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir:

Karışım hazırlanmasında kullanılan linyit ve TS kütleleri ile fazla hava miktarı aşağıdaki gibidir:

$$Q_L = 2,318 \text{ kg/h}$$

$$Q_{TS} = 0,391 \text{ kg/h}$$

$$\text{Hava Fazlalık katsayısı (n)} = 1,20$$

(6.1.1) bağıntısı ile hesapladığımız değerlere göre:

$$v_{ho_{kar}} = (3,666 * Q_L) + (3,571 * Q_s)$$

$$v_{ho_{kar}} = 9,895 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$n=1,20$ olduğuna göre yatağa beslenmesi gereken hava miktarı:

$$V_h = 9,895 \times 1,20$$

$$V_h = 11,874 \text{ m}^3/\text{h}$$

olarak bulunur.

Tablo 6.2.1.a'da birim kg yakıt için verilen yanma ürünü miktarları kullanılarak oluşan baca gazları hesaplanmış ve Tablo 6.2.1.b'de verilmiştir.

Tablo 6.2.1.b %15 TS + %85 linyit karışımı için hesaplanan yanma ürünleri

YANMA ÜRÜNÜ	LİNYİT (Nm ³)	TATLI-SORGUM (Nm ³)	TOPLAM (Nm ³)
CO ₂	1,7035	0,2955	1,999
SO ₂	0,01181	0,000214	0,012024
H ₂ O	1,4850	0,2506	1,7356
N ₂	6,7208	1,1058	7,8266
Özgül Baca Gazı Hacmi	9,92111	1,652114	11,573224

(6.2.3) Bağıntısına göre gerçek baca gazı hacmi,

$$V_g = 11,573224 + (1,20 - 1) \times 9,895$$

$$V_g = 13,552 \text{ m}^3/\text{h}$$

olarak bulunur.

Beslenen hava $11,874 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğuna göre, yatağa giren oksijen miktarı:

$$\text{Yatağa Giren O}_2 = 11,874 \times 0.21$$

$$= 2,49354 \text{ m}^3/\text{h}$$

Yanma reaksiyonları için gereken oksijen miktarı:

$$\text{Gereken O}_2 = V_{ho} \times 0.21$$

$$= 9,895 \times 0.21$$

$$= 2,07795 \text{ m}^3/\text{h}$$

Bu durumda, bir kısım oksijen reaksiyona girmeden baca gazı ile atılmaktadır. Baca gazındaki oksijen hacmi:

$$V_{O_2} = 2,49354 - 2,07795$$

$$V_{O_2} = 0,41559 \text{ m}^3/\text{h}$$

Yanma ürünlerinin baca gazı içindeki konsantrasyonları:

$$\begin{aligned} X_{nO_2} &= V_{O_2} / V_g & \% O_2 &= 3,07 \\ &= 0,41559 / 13,552 \\ X_{nCO_{2L}} &= V_{CO_{2L}} / V_g & \% CO_{2L} &= 12,57 \\ &= 1,7035 / 13,552 \\ X_{nCO_{2TS}} &= V_{CO_{2TS}} / V_g & \% CO_{2TS} &= 2,18 \\ &= 0,2955 / 13,552 \\ X_{nSO_2} &= V_{SO_2} / V_g & \% SO_2 &= 0,0887 \approx 887 \text{ ppm} \\ &= 0,012024 / 13,552 \\ X_{nH_2O} &= V_{H_2O} / V_g & \% H_2O &= 12,81 \\ &= 1,7356 / 13,552 \\ X_{nN_2} &= V_{N_2} / V_g & \% N_2 &= 57,75 \\ &= 7,8266 / 13,552 \end{aligned}$$

Yukarıda kullanılan eşitliklerde yer alan simgeler aşağıda tanımlanmıştır:

$v_{CO_{2L}}$	Linyit yanması sonucu oluşan CO_2 emisyon hacmi (Nm^3/kg)
$v_{CO_{2TS}}$	TS yanması sonucu oluşan CO_2 emisyon hacmi (Nm^3/kg)
v_g	Gerçek özgül baca gazı hacmi (Nm^3/kg yakıt)
v_{H_2O}	H_2O emisyon hacmi (Nm^3/kg)
v_{N_2}	N_2 emisyon hacmi (Nm^3/kg)
v_{O_2}	O_2 emisyon hacmi (Nm^3/kg)
v_{SO_2}	SO_2 emisyon hacmi (Nm^3/kg)
$X_{nCO_{2L}}$	Baca gazı içindeki, linyit yanması sonucu oluşan, CO_2 konsantrasyonu (%)
$X_{nCO_{2TS}}$	Baca gazı içindeki, TS yanması sonucu oluşan, CO_2 konsantrasyonu (%)
X_{nH_2O}	Baca gazı içindeki H_2O konsantrasyonu (%)
X_{nO_2}	Baca gazı içindeki O_2 konsantrasyonu (%)
X_{nN_2}	Baca gazı içindeki N_2 konsantrasyonu (%)
X_{nSO_2}	Baca gazı içindeki SO_2 konsantrasyonu (%)

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Deney Düzenekinin Tanıtılması

Deneysel çalışmalar TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü (ESÇAE) Akışkan Yatak Laboratuvarında, Şekil 7.1.1'de görülen deney düzenekinde gerçekleştirilmiştir. Düzenek, sürekli kömür besleyerek yanmayı sağlayabilecek şekilde yapılmıştır.

İçinde yakma işleminin gerçekleştirildiği akışkan yatak başlıca üç kısımdan oluşmaktadır;

Rüzgar odası,
Dağıtıcı elek,
Yanma odası ve serbest bölge.

Yukarıdaki bölümler ve ölçüleri Şekil 7.1.2 ve Tablo 7.1.1'de ayrıntılı olarak verilmektedir. Bu bölümlerin işlevleriaşağıda kısaca açıklanmıştır:

7.1.1. Rüzgar odası

Çapı 40 mm'den 150 mm'ye artan, 170 mm yüksekliğindeki konik bölüm rüzgar odası olarak isimlendirilmiştir. Alt ucuna kaynatılan dirseğe, LPG-hava karışımı beslenmektedir. Bölgeye yerleştirilen bir ızgara üzerine seramik halkalar doldurulmuştur. Bu halkalar, ön ısıtma amacıyla kullanılan LPG-havanın homojen karışmasını ve dağıtıcı eleğe bu şekilde girmesini sağlarlar.

7.1.2. Dağıtıcı elek

Rüzgar odası ile yanma odası arasında yer alan bu parça, yatak malzemesini taşır. Aynı zamanda LPG-hava karışımının homojen bir şekilde dağılmasını sağlar. Kullanılan dağıtıcı elek, delikli dairesel bir plaka şeklindedir. 170 mm çaplı bu plaka paslanmaz çelikten yapılmıştır. Gaz geçişini sağlamak amacıyla üzerine açılmış olan delikler, geometrik olarak 5 mm kenar uzunluğundaki bir karenin köşelerine oturacak şekilde olup, toplam 892 tanedir. 1 mm çapındaki bu deliklerin

toplam yüzeye oranı % 4'dür.

7.1.3. Yanma Odası ve Serbest Bölge

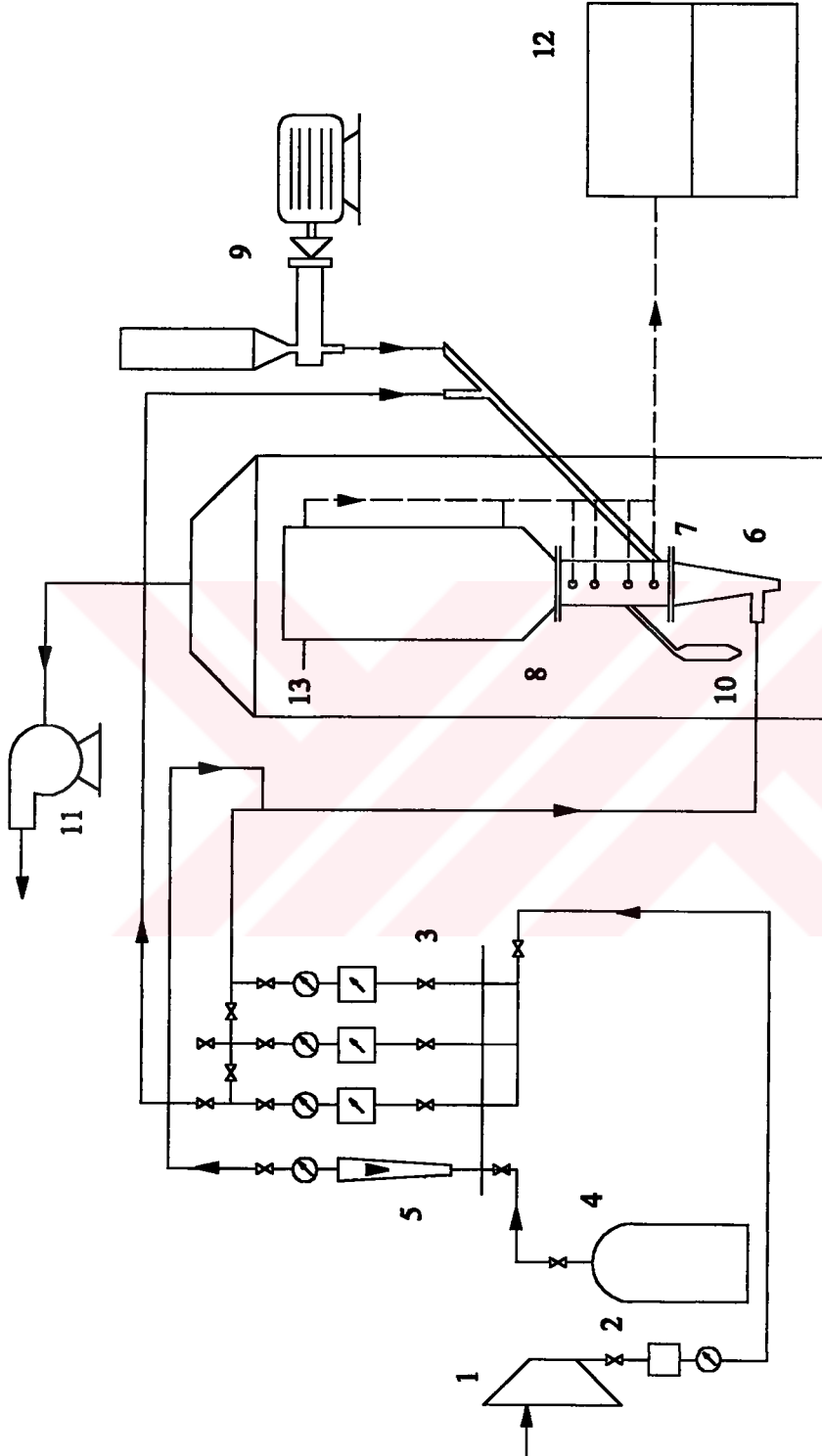
Toplam 1200 mm yüksekliğindeki iki ayrı parça, yanma odası ve serbest bölge olarak görev yapmaktadır. 300 mm yüksekliğindeki ilk parça, arada dağıtıcı elek olmak üzere, rüzgar odasına flanşla bağlanmıştır. Bu kısım 150 mm çaplı ve 5 mm et kalınlığında silindirik bir borudur. Üzerinde toplam 23 tane değişik çaplarda delik bulunmaktadır. Bunlardan 6 tanesi ısı çift yerleştirmek için kullanılmaktadır. Kömür beslemek ve taşma yoluyla külü boşaltarak dinamik yatak yüksekliğini ayarlamak için iki adet boru bulunmaktadır. Bunlar yatağa 45°'lik eğimle kaynatılmıştır.

900 mm yüksekliğindeki ikinci kısım serbest bölge olarak adlandırılmaktadır. Bu kısım yatak yüksekliğini artırarak taşınmayı önlemek için yapılmıştır. Flanş üzerinden civata ve somunlarla yanma odası-serbest bölge bağlantısı sağlanmaktadır. Burada çapı 150 mm'den 220 mm'ye genişleyen konik bir ağız mevcuttur. Bu genişleme baca gazlarının yatakta daha uzun süre kalmasını sağlamaktadır. Bu bölümde de gaz numunesi almak için toplam 16 tane delik bulunmaktadır.

Rüzgar odası ile yanma odası, flanşlı kısımlarından, aralarına yanmaz klingerit conta konularak, dört tane civata ve somunla bağlanmıştır.

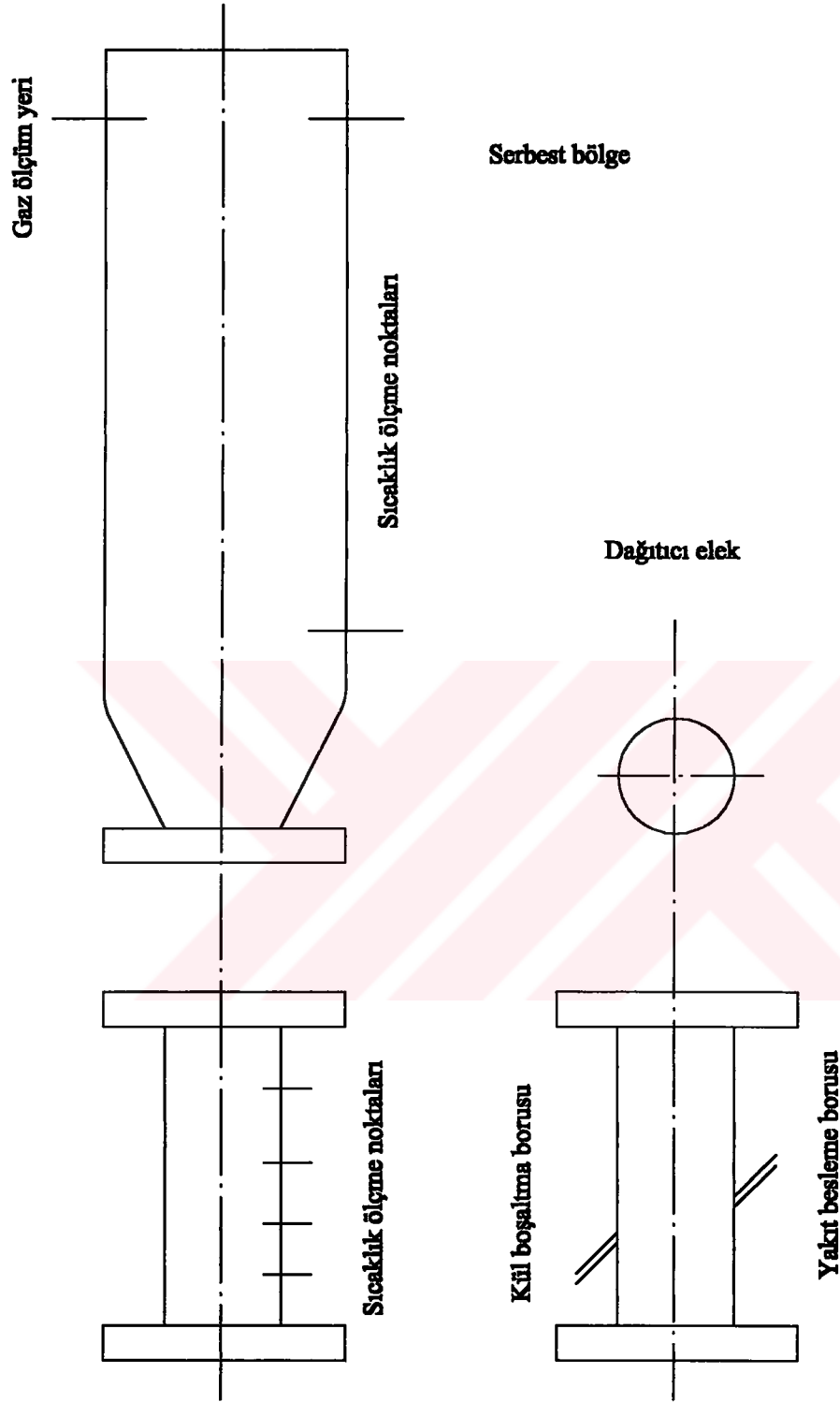
Yukarıda kısaca tanıtilen akışkan yatak, dikdörtgenler prizması şeklinde, önü açık bir sac dolaba yerleştirilmiştir. Bu dolabın üzerine yerleştirilen bir fan yardımıyla baca gazının çekişi sağlanmaktadır.

Akışkanlaştırma için gereken hava, bir kompresörden çekilmektedir. Kompresör havası yabancı maddelerden arındırılmak için bir filtreden geçirilip basınç regülatörü ile çıkış basıncı sabitleştirilmektedir. Buradan alınan hava üç adet akımmetre kullanılarak ölçülmektedir. Bu akımmetreler 12, 24, 47.5 m³/h hava debisi kapasitelerine sahiptirler. Akımmetreler bağımsız çalışabildiği gibi, birbiriyle bağlantılı olarakta çalışabilmektedir.



1.Kompresör, 2.Basınç regülatörü + yağ filtresi, 3.Hava akımmetreleri, 4.LPG tüptü, 5.LPG akımmetresi, 6.Rüzgar odası, 7.Dağıtıcı ele, 8.Akışkan yatak, 9.Kömür besleme sistemi, 10.Kül toplama deposu, 11.Çekiş fanı, 12.Sıcaklık okuyucu ve yazıcıları, 13.Gaz ölçüm yeri

Şekil 7.1.1 Deney düzeneği



Şekil 7.1.2 Akışkan yatağın temel parçaları

Tablo 7.1.1 Akışkan yatağın ölçüleri

Dağıtıcı elek çapı	: 170 mm
Elekteki delik çapı	: 1 mm
Elekteki delik sayısı	: 892
Elek boşluk oranı	: % 4
Elek malzemesi	: Krom paslanmaz çelik
Yanma odası çapı	: 150 mm
Yanma odası yüksekliği	: 300 mm
Yanma odası flanş çapı	: 220 mm
Serbest bölge çapı	: 220 mm
Serbest bölge yüksekliği	: 900 mm
Yatak malzemesi	: Çelik, 5 mm kalınlığında
Isıl çiftlerin konumu	: 25, 65, 110, 185, 450, 1160 mm
Isıl çift delik çapı	: 8 mm
Gaz ölçüm yeri	: 1160 mm
Gaz ölçüm delik çapı	: 8 mm
Kömür besleme borusu yeri	: 70 mm
Kömür besleme boru çapı	: 2" (~50 mm)
Kül boşaltma borusu yeri	: 140 mm
Kül boşaltma boru çapı	: 3/4" (~ 20 mm)
Yatak malzemesi	: Kuartz kumu
Yatak malzemesi tane büyüklüğü	: 0.5-1 mm

Not: Tüm yükseklik ölçümleri dağıtıcı elekten itibaren verilmiştir.

LPG ise, sanayi tipi tüplerden sağlanmakta ve yine bir akımmetre yardımıyla yatağa beslenmektedir.

Sıcaklık ölçümleri, seramik kılıflı Ni-Cr ısı çiftler kullanılarak 6 farklı noktada yapılmıştır. Bunlar dağıtıcı elekten itibaren 25, 65, 110, 185, 450 ve 1160 mm yüksektedirler.

Yanmayı sürekli kılabilmek için, kömür beslemesi 0.37 kW'lık bir elektrik motoru ile tahrik edilen sonsuz vidalı bir besleme düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Sonsuz vidanın hızı, motorun devir hızına bağlı olarak değiştirilebilmekte ve bu da, kömür besleme hızını ayarlamayı sağlamaktadır. Kömür besleme deposundan bir hortum ve yatağa 45° eğimle kaynatılmış besleme borusu yardımıyla kömür beslemesi istenen debide yapılabilmektedir. Bu sırada kömürün homojen ve sürekli akmasını sağlayabilmek için aynı hatta hava da gönderilmektedir.

7.2 Yanma Ürünleri Analizleri

Yanma ürünleri analizi, özellikle O₂, CO, SO₂ ve NO_x konsantrasyonunun belirlenmesine yöneliktir.

Deneyler sırasında söz konusu ürünlerin analizleri TESTO-350 Baca Gazı Analiz Cihazı ile 40 s. aralıklarla ortalama alınarak kaydedilmiştir. Söz konusu cihaz ile ölçülebilen parametreler şunlardır:

O ₂ [%]	CO [ppm]
NO [ppm]	NO ₂ [ppm]
SO ₂ [ppm]	TA ortam sıcaklığı [°C]
	TF baca gazı sıcaklığı [°C]

Bacagazları, elektrokimyasal ölçüm hücreleri ile, baca gazı sıcaklığı Ni-Cr-Ni ısı çifti ile, ortam sıcaklığı NTC (yarı iletken ısı çifti) prob ile ölçülmektedir. Cihaz ilk çalıştırıldığı anda otomatik olarak 60 s. süre ile kendi kendini temiz hava ile kalibre ederek, kullanıma hazır hale gelmektedir.

Cihazda baca gazı probu ile analizör ünitesi arasında özel kondensat ve seperatör filtreleri ayrı ayrı bulunmaktadır. Cihazın standart 300 mm. uzunluğunda paslanmaz çelik probu ve 2.20 m.

uzunluğunda standart bağlantı hortumu vardır. Bacagazı probunda gaz girişi ve baca çekişi için ayrı ayrı kanallar ve gaz sıcaklık için ayrıca bir kanal daha mevcuttur.

7.3. Deneylerin Yürütülmesi

Kömür besleyerek, sürekli yanmanın sağlandığı deneylerde kömür beslemesinden önce yatak malzemesi, kömürün tutuşma sıcaklığına kadar ısıtılmıştır. Bu amaçla, önce istenen statik yatak yüksekliğini sağlayacak miktarda yatak malzemesi tartılarak (yaklaşık 2 kg) yatağa yerleştirilmiştir. Ardından bu yatak malzemesinin içinden LPG-hava karışımı geçirilerek LPG yatak içinde tutuşturulmuştur. Bu arada yataktaki basınç düşüşünün sabitleşmesi ile, minimum akışkanlaşma hızına ulaşıldığı gözlemlenmektedir. Tutuşmanın ardından yatak yüzeyinde başlayan yanma zamanla yatak malzemesinin derinliklerine de inerek tüm malzemenin ısınmasını sağlamaktadır. Yanma bu şekilde sürerken LPG/hava oranı değiştirilerek, sıcaklık artışı da hızlandırılabilir. Genellikle sıcaklık ortalama 30 dakika içinde oda sıcaklığından 750-800°C'a kadar sıcaklık artışı çıkabilmektedir. 800°C'ın altında ki sıcaklıklarda yanma patlamalı olarak gerçekleşmektedir.

Yatak sıcaklığı 800°C'ın üzerine çıktıktan sonra kömür beslemeye başlanmış, aşamalı olarak LPG miktarı azaltılmış ve birkaç dakika içinde tamamen kesilmiştir. Kömür beslemesi 70 mm yükseklikte 2"lik (yaklaşık 50 mm) besleme borusundan yatak yüzeyine yapılmıştır. Besleme hattına bir miktar hava vererek taneciklerin sürüklenmesi sağlanmıştır. Dinamik yatak yüksekliğini ayarlamak için, yanma sonucu oluşan kül , taşma borusunu kullanarak kül toplama deposuna alınmıştır.

Tatlı-Sorgum ve kömürün birlikte yakılmaya çalışıldığı ilk deneylerde besleme iki ayrı sonsuz vidalı besleme düzeneği kullanılarak yapılmaya çalışılmıştır. Ancak, Tatlı-Sorgumun düşük yoğunluklu ve lifli bir bitki olması nedeniyle depoda sıkışma oluşmuştur. Depoya bir karıştırıcı eklenerek bu sorun giderilme çalışılmış ancak aynı sorun bu kez sonsuz vida içinde ortaya

yakıt Retsch marka bir karıştırıcıda 30 dakika süre ile bir ön karışma tabi tutulduktan sonra tek bir depodan sonsuz vidalı besleme düzeneği kullanılarak yatağa beslenebilmiştir. Ancak, bu yöntem en fazla % 15 Tatlı-Sorgum, % 85 kömür karışımı için denenebilmiştir. Daha yüksek oranlarda TS kullanıldığında, sonsuz vida içindeki sıkışma tekrar gündeme gelmiştir. Bu yüzden, Tatlı-Sorgumun yüksek oranlarda katıldığı karışımlar için, besleme düzeneğinin yeniden tasarlanması gerektiği görüşüne varılmıştır.



8. DEĞERLENDİRME

8.1 Deney şartlarında teorik yanma hesapları

Daha öncede bahsedildiği gibi, düşük kaliteli linyitlerimizden optimum şekilde yararlanmanın yolu, akışkan yataklı yakma sistemlerinin kullanılmasıdır. Bu çalışmada, akışkan yataklı kömür yakma sistemlerinin zaten mevcut avantajlarını daha da geliştirmek, sera etkisini azaltmak ve bu enerji üretim teknolojisini kısmen yenilenebilir hale getirmek amacıyla, tipik bir Türk linyiti olan Orhaneli linyiti ve Tatlı-Sorgum karışımları yakılmış, CO_2 , SO_2 , NO_x emisyonları vb. kirlетici etkiler incelenmiştir.

Kirletici emisyon konsantrasyonları ile ilgili teorik hesaplamalar Bölüm 6'da anlatılmıştı. Bu hesaplamalar yapılırken kullanılan elementel ve kısa analiz değerleri, Bölüm 5.2'de bahsedildiği gibi, ASTM standartlarına göre yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir. Bu standartlardaki kül analizi $750\text{ }^\circ\text{C}$ 'da yapılmış olup, yanar kükürdün belirlenmesinde kullanılan küldeki kükürt miktarı da, $750\text{ }^\circ\text{C}$ 'da elde edilen külde belirlenmiştir. Ancak, yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, yatak içindeki yanma sıcaklığının ortalama olarak $835\text{ }^\circ\text{C}$ olduğu saptanmıştır (Bölüm 8.3). Bundan dolayı teorik hesaplamaların değişebileceği düşünülerek, yakma şartları için kül ve külde kükürt tayinleri linyit ve Tatlı-Sorgum için yinelendiğinde, kül yüzdesi artarken, külde kükürt oranının azaldığı görülmüştür. Yeni analiz değerleri aşağıda Tablo 8.1.1 ve 8.1.2'de verilmiştir.

Bu değerleri kullanarak, (6.1.4) bağıntısına göre orijinal bazda yanar kükürt değerleri tekrar hesaplandığında:

$$\text{Linyit için} \quad \% S_{\text{yanar}} = 0,528$$

$$\text{Sorgum için} \quad \% S_{\text{yanar}} = 0,05427$$

olarak bulunur.

Bunun yanı sıra, tüm yakma deneylerinden sonra yatak içi, alt siklon ve üst siklondan alınan kül numunelerinde kükürt tayini yapılmıştır. Daha sonra bu küllere, yine 835°C 'da olmak şartıyla, kısa analiz cihazında kül analizi uygulanmış ve bu küllerde tekrar kükürt tayini yapılmıştır. Bu değerler Tablo 8.1.3'de verilmiştir. Söz konusu tablıdan görüldüğü gibi, deneyler sonrasında alt ve üst siklondan alınan numunelerin kül yüzdesi %95~96 arasında iken, yatak içinden alınan

numunede %98~99 civarındadır. Buradan yola çıkarak, sisteme beslenen yakıtın yaklaşık %5'inin yanmadan sistemi terk ettiğini varsaymak mümkündür. Bu varsayıma dayanarak, tüm teorik hesaplamalar, yakıtın %5'inin yanmadığı durum için birkez daha tekrar edilmiştir.

Tablo 8.1.1 Orhaneli Linyitinin (1.00-2.00 mm arası) ASTM yerine 835°C'daki elementel analiz değerleri

	Elementel Analiz (%)						
	C	H	N	S	O	Kül	W
Kuru Baz	50,68	4,17	0,50	1,65	20,43	22,57	--
Orijinal Baz	39,37	3,24	0,39	1,28	15,87	17,53	22,32

% $S_{köl} = 4,30$ (kuru baz) ; 3,34 (orijinal baz)

Tablo 8.1.2 Tatlı Sorgumun (0.5-1.00 mm arası) ASTM yerine 835°C'daki elementel analiz değerleri

	Elementel Analiz (%)						
	C	H	N	S	O	Kül	W
Kuru Baz	43,74	5,29	0,80	0,18	40,51	9,48	--
Orijinal Baz	40,47	4,89	0,74	0,17	37,49	8,77	7,47

% $S_{köl} = 1,28$ (kuru baz) ; 1,183 (orijinal baz)

Yukarıda bahsedilen , linyit yanması ve %5~40 TS ve linyit karışımlarının yanması sonucu oluşacak O_2 , CO_2 , SO_2 , N_2 ve H_2O konsantrasyonları ile teorik özgül hava ihtiyaçlarına ilişkin yeniden hesaplanan teorik değerler Şekil 8.1.1, 8.1.2, 8.1.3, 8.1.4, 8.1.5 ve 8.1.6'da verilmiştir. Söz konusu grafiklere ait değerler Ek-2'de tablolar halinde verilmiştir. Bu grafiklerde belirtilen indisler:

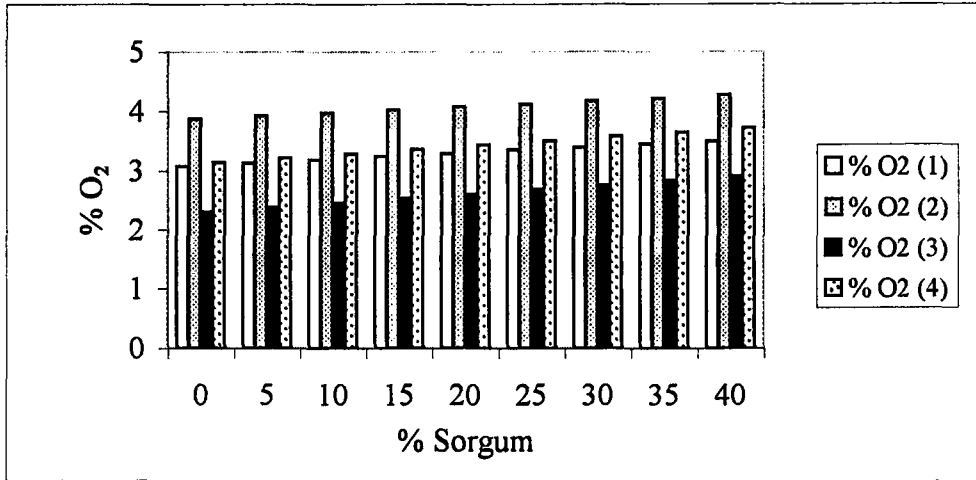
- (1) : ASTM standartlarına göre ,
- (2) : ASTM standartlarına göre ve yakıtın %5'inin yanmadığı durum için,
- (3) : 835 °C'daki analiz değerlerine göre,
- (4) : 835 °C'daki analiz değerlerine göre ve yakıtın %5'inin yanmadığı durumda

hesaplanan değerleri belirtmektedir. Bu hesaplamalarda, gerçek hava miktarı olarak, deneyler sırasında beslenen hava miktarı $V_h=12 \text{ m}^3/\text{h}$ kullanılmıştır.

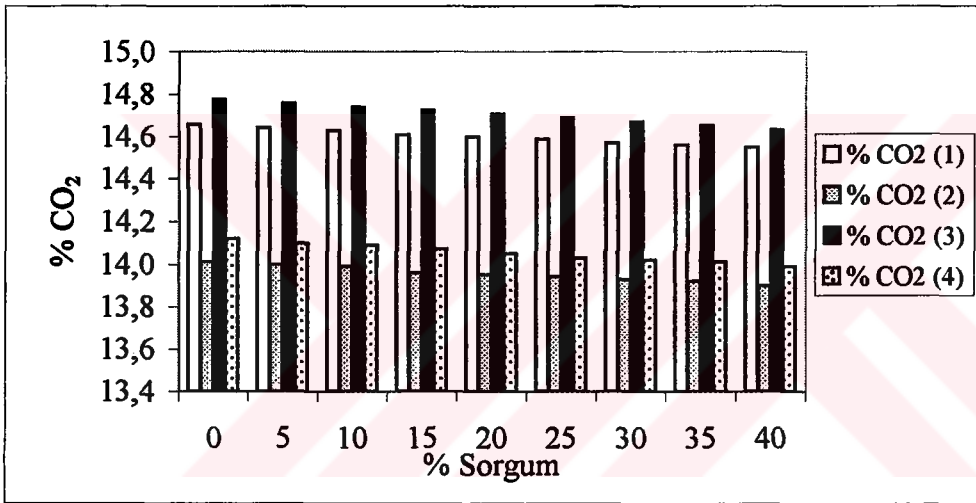
Tablo 8.1.3 Deney sonrasında yatak içi, alt siklon ve üst siklondan alınan kül numunelerine uygulanan analiz sonuçları

Numune	% kül	% S	% S _{kül}
Linyit			
Alt siklon	95,26	1,74	1,42
Üst siklon	95,13	3,43	3,74
Yatak içi	98,32	0,26	0,121
%5 Tatlı sorgum			
Alt siklon	95,56	1,70	1,35
Üst siklon	95,69	4,05	4,11
Yatak içi	99,35	1,31	1,29
%10 Tatlı Sorgum			
Alt siklon	95,12	1,67	1,28
Üst siklon	95,48	4,13	4,24
Yatak içi	99,41	1,34	1,30
%15 Tatlı sorgum			
Alt siklon	96,01	1,06	1,15
Üst siklon	95,52	2,40	2,69
Yatak içi	99,43	0,19	0,29

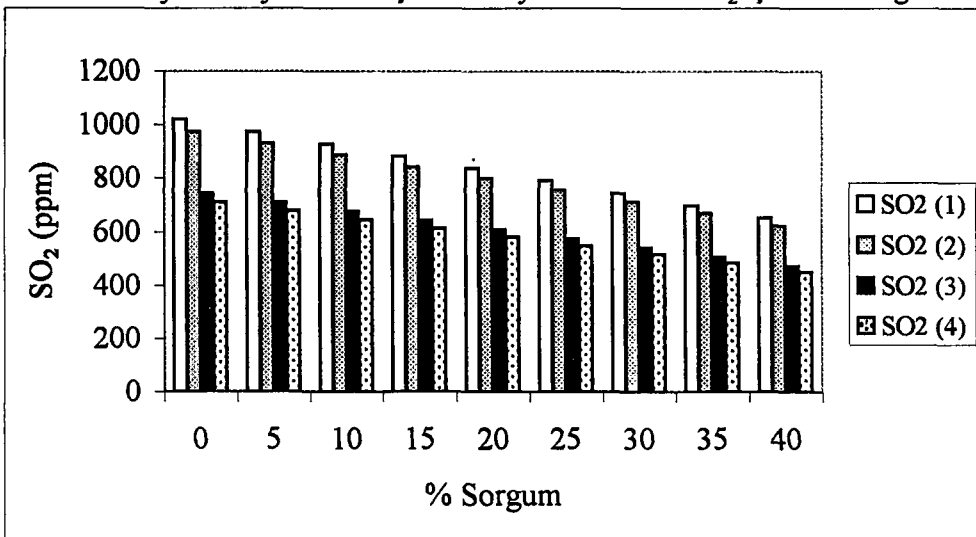
Yukarıdaki tabloda verilen, üst siklondan alınan kül numunelerindeki % S ve % S_{kül} değerleri incelendiğinde, bu değerlerin alt siklon ve yatak içi numunelerinden alınan değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Literatürde de, tane boyutu küçüldükçe, sülfatlanma dönüşümlerinin arttığı belirtilmektedir (Candan vd., 1980). Zira küçülen tanecik çapına paralel olarak etkin olan tanecik reaksiyon yüzeyi daha fazladır. Diğer yandan, yine literatürde, yatak sıcaklığı 800 ila 850°C aralığında iken, maksimum SO₂ tutulma oranına erişildiği belirtilmektedir (Keskin vd., 1994). Bizim çalışmalarımız sırasında da, bu sıcaklık aralığındaki değerler elde edilmiş ve üst siklondan alınan kül numune boyutunun <0.025 mm. olduğu saptanmıştır. Böylece, yukarıda bahsedilen bu teoriler yardımıyla, üst siklondaki kül numunelerinin %S ve %S_{kül} değerlerinin yüksek olmasının nedeni açıklanabilmektedir.



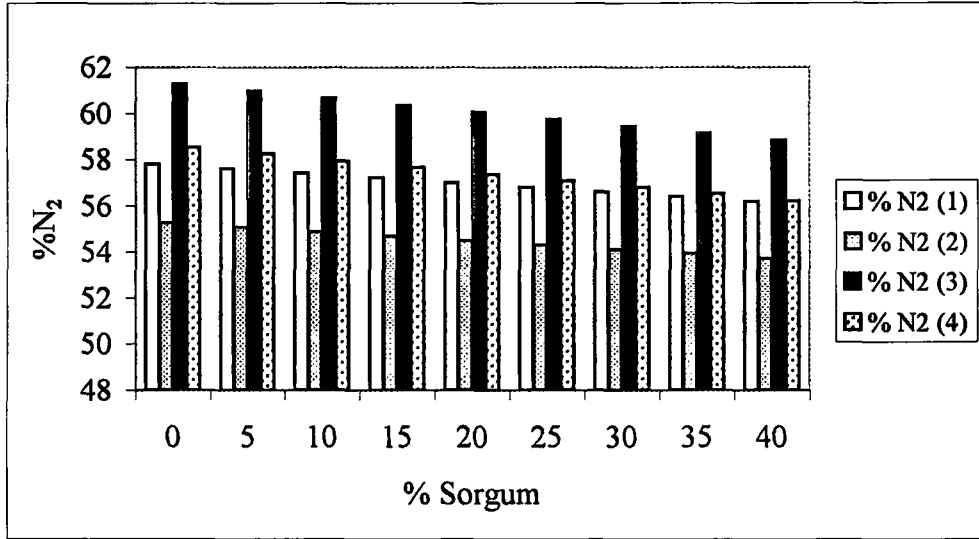
Şekil 8.1.1 Linyit ve linyit+TS karışımlarının yanmasında %O₂ için teorik değerler



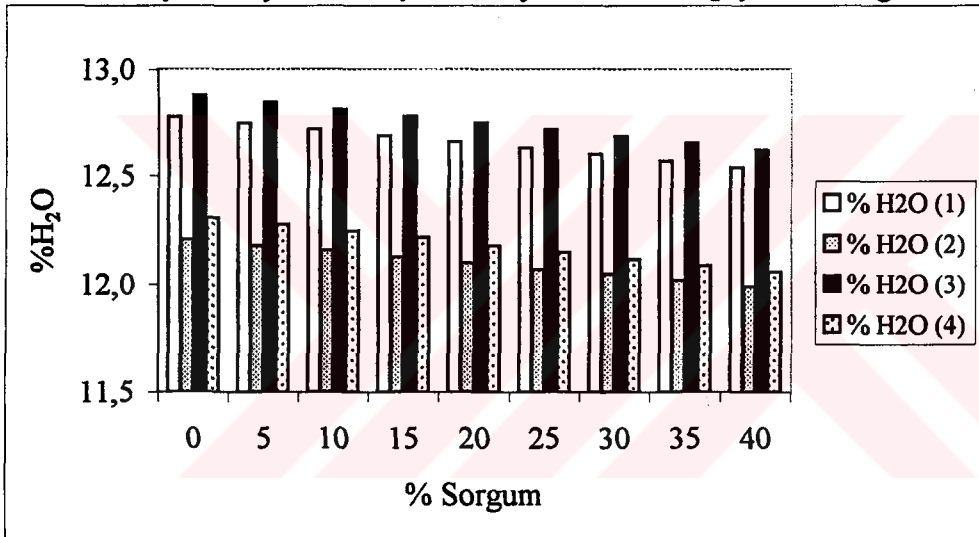
Şekil 8.1.2 Linyit ve linyit+TS karışımlarının yanmasında %CO₂ için teorik değerler



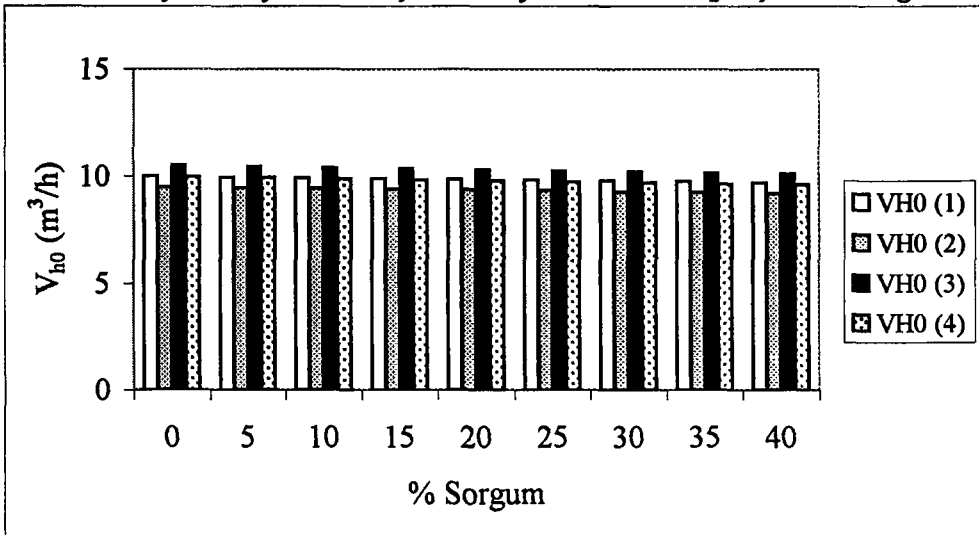
Şekil 8.1.3 Linyit ve linyit+TS karışımlarının yanmasında %SO₂ için teorik değerler



Şekil 8.1.4 Linyit ve linyit+TS karışımlarının yanmasında $\%N_2$ için teorik değerler



Şekil 8.1.5 Linyit ve linyit+TS karışımlarının yanmasında $\%H_2O$ için teorik değerler



Şekil 8.1.6 Linyit ve linyit+TS karışımlarının yanmasında teorik hava ihtiyaçları

8.2 Kirletici emisyonların incelenmesi

Enerji kaynaklarını çevre üzerindeki etkilerinden bağımsız olarak ele almak mümkün değildir. Özellikle kömür ve linyit gibi fosil yakıtların yanması sonucu oluşan CO_2 , SO_2 , NO_x emisyonları, atmosferik kirliliğin artmasında birinci derecede etkilendirler. Endüstriyel faaliyetler sonucunda, her yıl atmosfere yaklaşık 20 milyar ton CO_2 , 100 milyon ton kükürt bileşikler, 2 milyon ton kurşun ve diğer zehirli kimyasal bileşikler salınmaktadır (Kadioğlu ve Tellioğlu, 1996). CO_2 ve SO_2 emisyonları doğrudan doğruya tüketilen enerjinin miktarı ile orantılıyken, NO_x , CO ve diğer uçucuların yarattığı emisyon seviyeleri kullanılan teknolojiye bağlıdır.

Çalışmamızda, linyit yanması sonucu oluşan bu olumsuz etkilerin, yakma sisteminden alınacak ısı gücü sabit olacak şekilde, linyit yerine belli oranlarda Tatlı-Sorgum eklenerek azaltılması düşünülmüştür. Bu amaçla, yataktan alınacak güç yaklaşık 10.000 kcal/h olacak şekilde linyit yakılarak çalışmalara başlanmış ve daha sonra %5, 10 ve 15 oranlarında Tatlı-Sorgum eklenmesi ile devam edilmiştir. Aşağıda, çeşitli kirleticiler ile ilgili ayrıntılı çalışmalar anlatılmaktadır.

8.2.1 CO_2 ve CO emisyonları

Hidrokarbonlu fosil yakıtlarda, yanmanın kaçınılmaz ürünü olan CO_2 , aynı zamanda atmosferin doğal olarak oluşan bir bileşenidir. CO_2 nin havadaki derişimi geçen yüzyılın ortalarından günümüze kadar yaklaşık 290 ppm'den 335 ppm'e yükselmiştir ve bu artış devam etmektedir. Bu artışın nedeni fosil yakıtların kullanılması, orman yangınları, topraktaki organik maddelerin hava ile temasları sonucu çürümeleri ve ormanların azalmasıdır. CO_2 atmosferden, biyolojik çevrim ve okyanuslarda çözünme ile uzaklaşır; ancak, bu süreçler oldukça yavaştır ve oluşan CO_2 nin yaklaşık yarısı atmosferde kalır. Fosil yakıtların tam yanma ürünlerinden olan CO_2 in yayınımlarını kontrol etmeye yönelik pratik bir yöntem mevcut değildir.

Atmosferdeki CO_2 in derişiminin artması, yaptığı sera etkisi ve O_2 derişimini düşürmesi nedenleriyle istenmez. Atmosferdeki CO_2 , güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmasına izin verirken, yeryüzünden yansıyan ışınları tutar ve yeryüzeyinin ısınmasına, atmosferin ise soğumasına neden olur. CO_2 gazının bu etkisi "sera etkisi" olarak bilinmektedir. Sera

etkisinin sonucu olarak, yakın bir gelecekte tüm dünyada iklim değışikliklerinin olacağı bilinmektedir. Bu değışikliklerden bazıları, iklim kuşaklarının değışmesi, ortalama bölgesel hava sıcaklıklarında artış, deniz seviyelerinin yükselmesi, yağmur ve kar yağış düzeninin değışmesi ve şiddetli fırtınalar şeklinde sıralanabilir (Ersoy ve Küçükbayrak, 1994).

Bu çalışmada, linyit ve linyit + Tatlı-Sorgum karışımları için yukarıda sözedilen emisyonlar incelenmeye çalışılmış ve CO₂ oluşumu ile ilgili, 6 ve 8.1. bölümlerde söz edilen teorik yanma hesapları ile belirlenen miktarlar, grafik olarak Şekil 8.1.2’de, değerleri ise Ek-2 Tablo Ek-2.1’de verilmiştir. Bu grafikden ve tablodan da görüldüğü gibi, linyit ve linyit + Tatlı-Sorgum karışımları için hesaplanan teorik CO₂ konsantrasyonlarında küçük miktarda da olsa bir azalma kaydedilmektedir. Ancak, karışımı oluşturan linyitin ve Tatlı-Sorgumun yanmaları sonucu oluşan CO₂ konsantrasyonları ayrı ayrı hesaplanarak incelendiğinde, sadece linyit yanması sonucu oluşan CO₂ konsantrasyonu azalırken, Tatlı-Sorgum yanması sonucu oluşan CO₂ konsantrasyonunda artış olduğu gözlemlenmektedir. 3. bölümde de bahsedildiği gibi, genel olarak biyokütle, oluşumu sırasında havadaki CO₂’yi tüketmesi bakımından ilginç bir yakıttır. CO₂ dengesi geniş anlamda düşünüldüğünde, Tatlı-Sorgum yakılması ile enerji üretimi sırasında, atmosfere CO₂ ilave edilmemekte, doğal denge bozulmamaktadır. Dolayısıyla, bu düşünceden yola çıkarak, linyit + Tatlı-Sorgum yanması sonucunda oluşan CO₂ konsantrasyonlarında, linyitin tek başına yanması sonucu oluşan CO₂ konsantrasyonlarına göre bir azalma olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmalar sırasında CO₂ doğrudan ölçülmemiştir. Ancak, ölçülen O₂ konsantrasyonları ile bağlantılı olarak aşağıda verilen 8.2.1.1 nolu eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir.

$$\%CO_2 = \%CO_{2max} * \frac{(21 - O_2)}{21} \quad 8.2.1.1$$

Tablo 8.2.1.1 Linyit ve linyit + Tatlı-Sorgum karışımları için hesaplanan CO_{2max} değerleri

	Linyit	%5 Tatlı-Sorgum	%10 Tatlı-Sorgum	%15 Tatlı-Sorgum
%CO _{2max}	17,17	17,20	17,24	17,27

Bu eşitlikte yer alan O₂, deneyler sırasında ölçülen oksijen konsantrasyonu olup, CO_{2max} değeri ise, stokiometrik tam yanma halinde ortaya çıkan CO₂ konsantrasyonudur. Orhaneli linyiti ve

%5,10,15 Tatl-Sorgum karışımları için hesaplanan CO_{2max} değerleri yukarıda Tablo 8.2.1.1'de verilmiştir. Bu değerler ve deneyler sırasında ölçülen O_2 değerleri gözönünde tutularak hesaplanan CO_2 konsantrasyonları ile, teorik CO_2 konsantrasyonlarını karşılaştırmalı olarak Şekil 8.2.1.1, 8.2.1.2, 8.2.1.3 ve 8.2.1.4'de verilmektedir. Bu şekillerde ve diğer tüm grafiklerde verilen deneysel değerler, yanma kararlı hale geldikten bir süre sonra, 30 dakikalık bir zaman aralığında kaydedilmiştir.

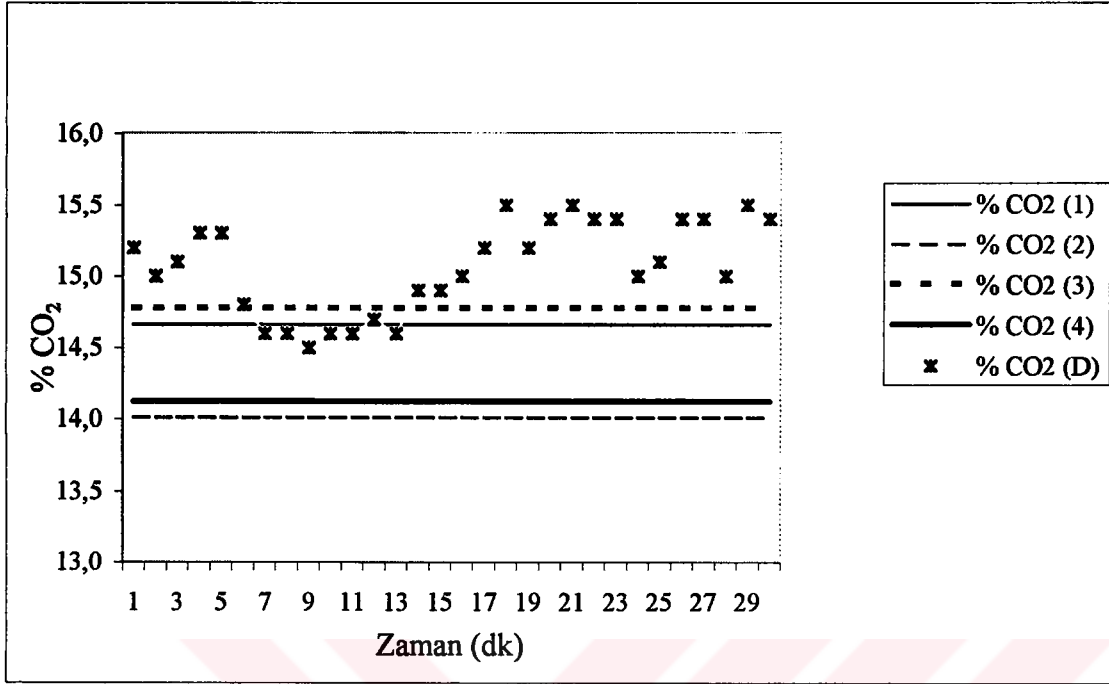
Karbon monoksit ise, yakıtların kısmi yanma ürünüdür . Yakma sistemlerinde yeterli hava bulunmaması sonucunda, karbonun karbonmonoksit şeklinde yanması ile oluşur ve atmosferdeki oksijen ile birleşerek CO_2 'ye dönüşür. Yanma maksimum verimle tam olarak gerçekleştirilirse, CO yayını minimuma indirilebilir. Deneyler sırasında kaydedilen CO emisyonlarına ait dağılımlar ise, Şekil 8.2.1.5 , 8.2.1.6 , 8.2.1.7 ve 8.2.1.8 'de verilmiştir. Bu emisyonlar ppm cinsinden verilmiş olup, yüzdesel oranlarda düşünüldüğünde, oldukça az bir CO emisyonu olduğu görülmektedir.

8.2.2 Kükürtoksit emisyonları

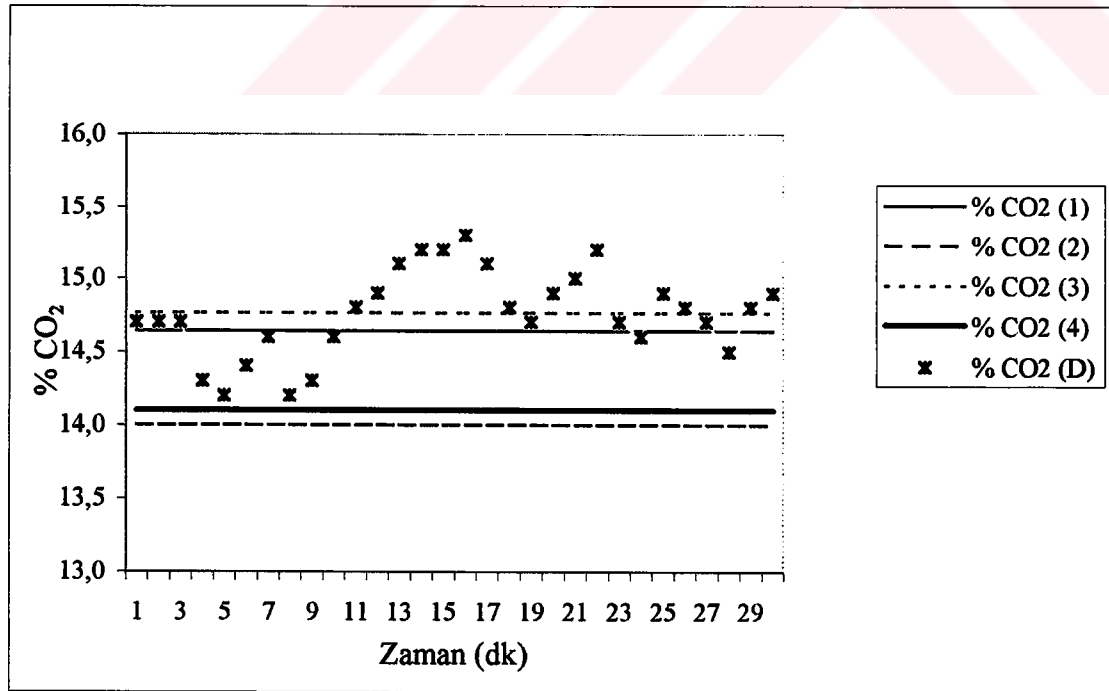
Genel olarak yakıtın yapısındaki kükürt miktarı ile SO_2 yayını orantılıdır. Yakıtın bünyesindeki kükürt türleri ve miktarlarının bilinmesi gerekir. Çünkü mineral madde ile birlikte bulunan piritik ve organik kükürt oksitlenerek SO_2 oluştururlar. Başka bir deyişle piritik ve organik kükürtlerin toplamı olarak adlandırabileceğimiz yanar kükürt, SO_2 'yi oluşturur. Fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan kükürt oksitlerin miktarı, yakıtın yanar kükürt içeriği ile doğru orantılıdır.

Kükürt içeriği diğer fosil yakıtlara oranla genelde daha yüksek olan kömürün yakılması sonucu önemli ölçüde kükürt oksit yayını olmaktadır. Yakıtlar yanarken, içerdikleri kükürtlü bileşikler de yanar. Kükürdün yüksek sıcaklıklarda kararlı olan bileşiği SO_2 'dir; ancak az miktarda ($\sim$ %5 - 1) SO_3 de oluşur. Dolayısı ile çok az olan SO_3 ihmal edilebilir.

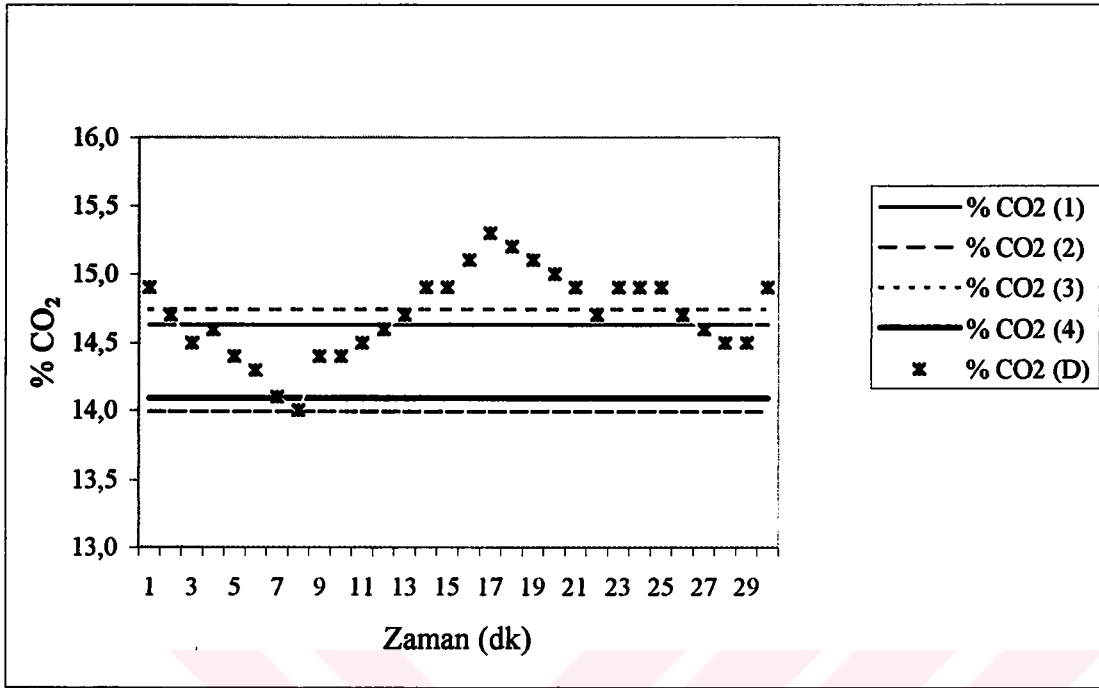
Kükürt oksitler su ile birleşerek sülfürik asit oluştururlar. Sudaki çözünürlükleri yüksek olduğu için yağmur damlacıkları ile birleşerek asit yağmurları olarak yeryüzüne ulaşırlar. Kükürt oksitler kuru olarak da, bitkiler, toprak ve diğer maddeler tarafından adsorplanmaktadır.



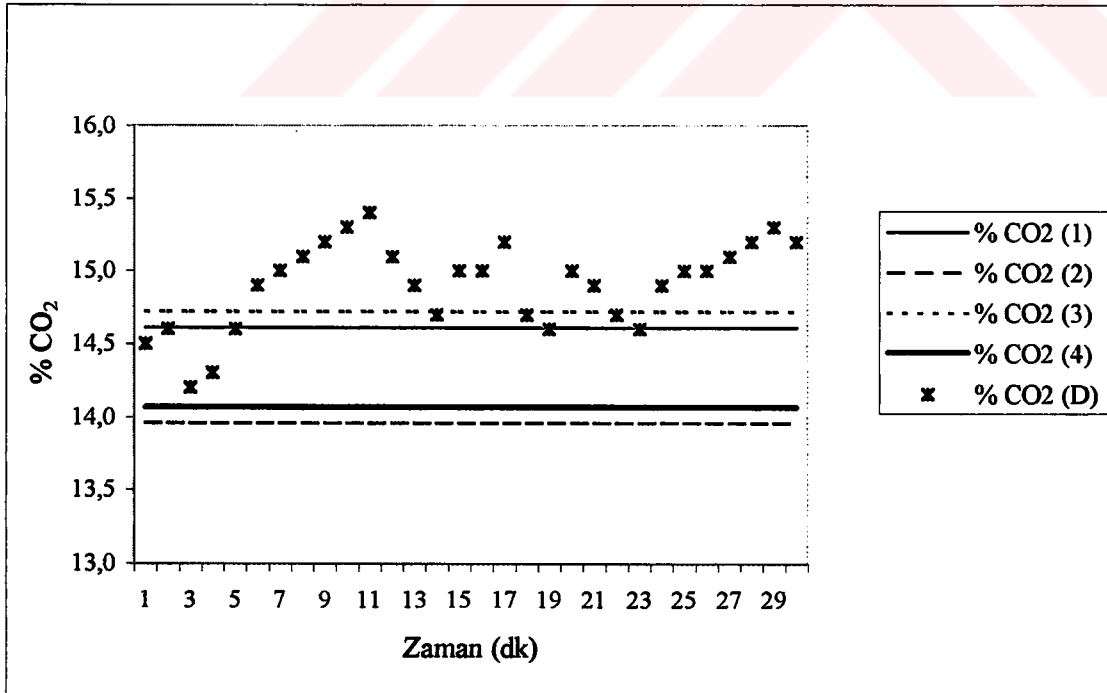
Şekil 8.2.1.1 Orhaneli linyiti için teorik ve deneysel CO₂ emisyonları



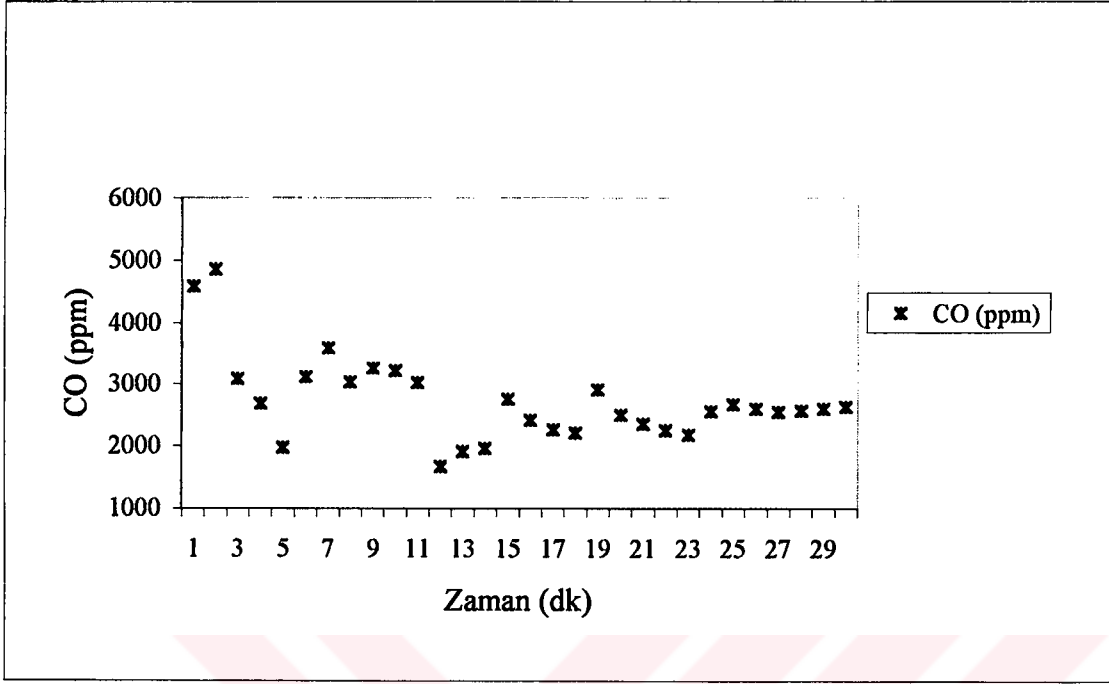
Şekil 8.2.1.2 % 5 TS ve % 95 linyit karışımı için teorik ve deneysel CO₂ emisyonları



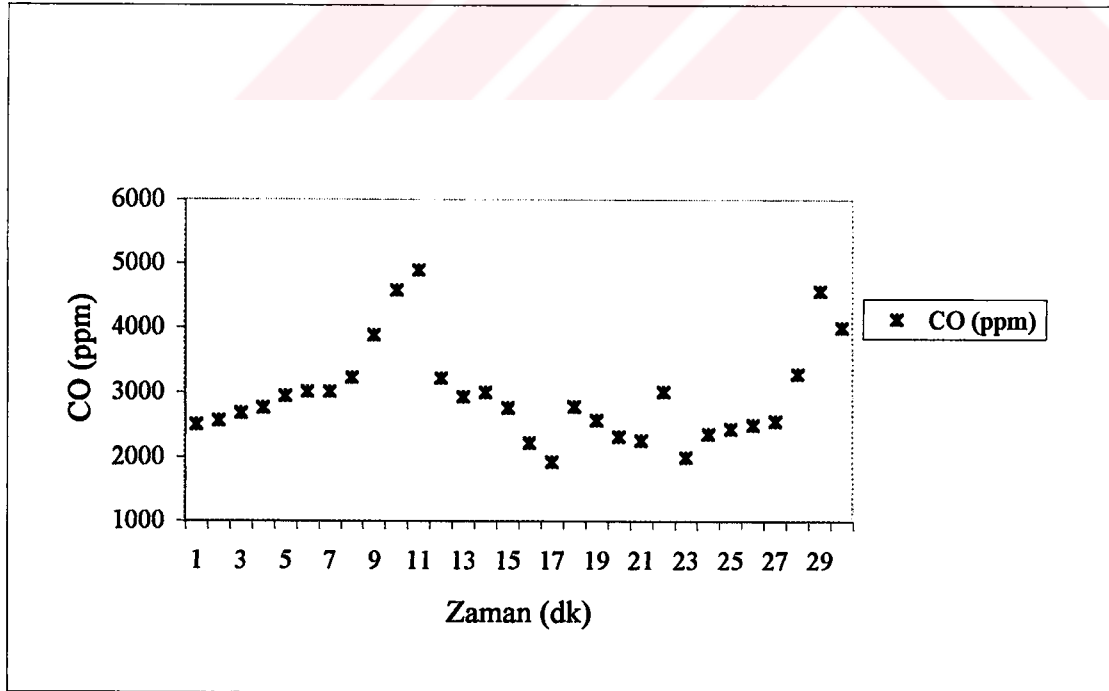
Şekil 8.2.1.3 % 10 TS ve % 90 linyit karışımı için teorik ve deneysel CO₂ emisyonları



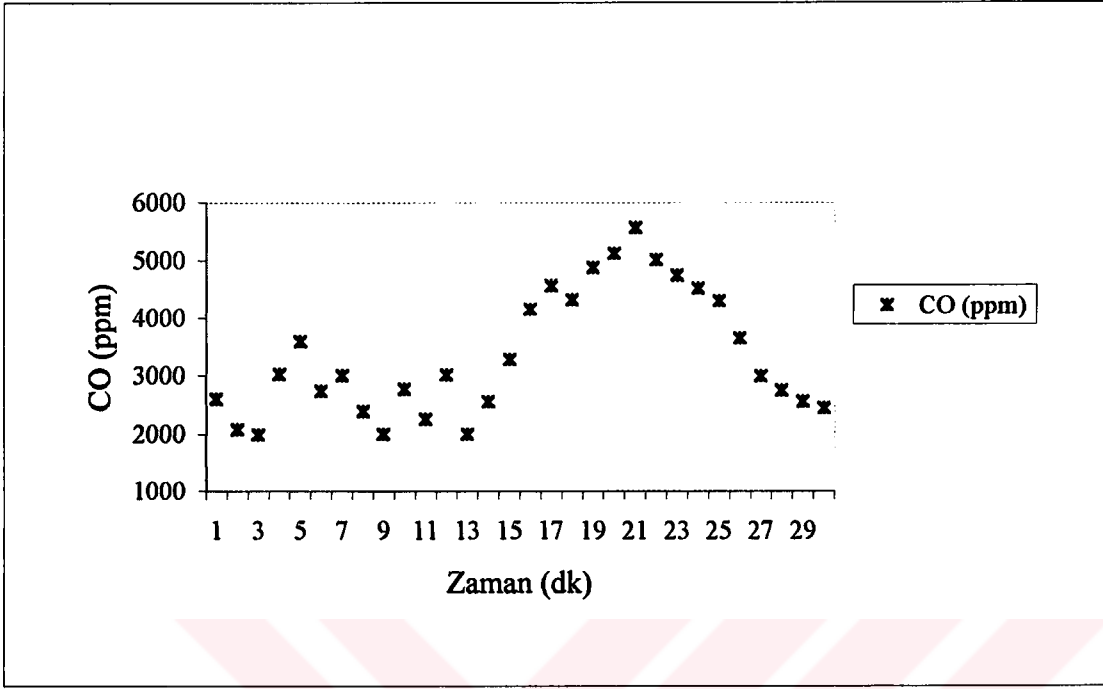
Şekil 8.2.1.4 % 15 TS ve % 85 linyit karışımı için teorik ve deneysel CO₂ emisyonları



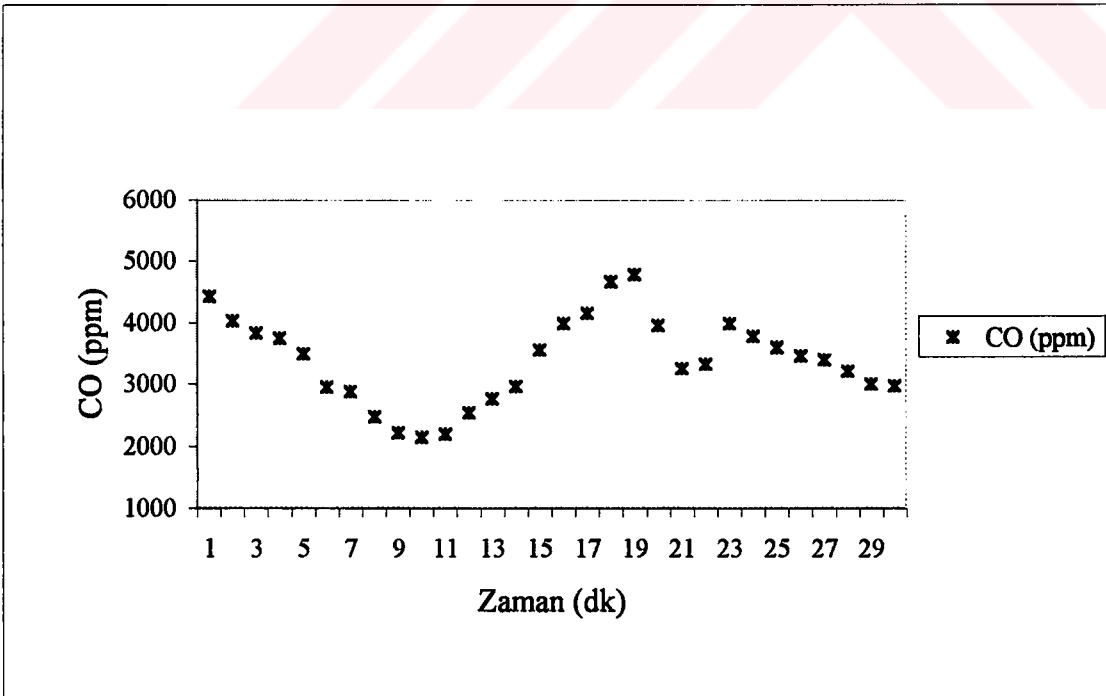
Şekil 8.2.1.5 Orhaneli linyiti için deneysel CO emisyonları



Şekil 8.2.1.6 % 5 TS ve % 95 linyit karışımı için deneysel CO emisyonları



Şekil 8.2.1.7 % 10 TS ve % 90 linyit karışımı için deneysel CO emisyonları



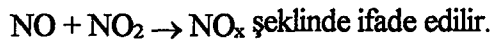
Şekil 8.2.1.8 % 15 TS ve %85 linyit karışımı için deneysel CO emisyonları

İnsan sağığı ve doğal denge açısından SO₂ yayınınının bir st sınırı vardır. Bunun zerindeki değerlere çıkıldığında toplu ölümlere varan durumlarla karşılaşılabilir. Bu sınırı ülkeler standartlar geliştirerek ortaya koymuşlardır. Ülkemizde de 2 Kasım 1986 tarihinde yayımlanan ‘‘Hava Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği’’ ile yakma sistemlerine emisyon sınırlamaları getirilmiştir (Ek-1).

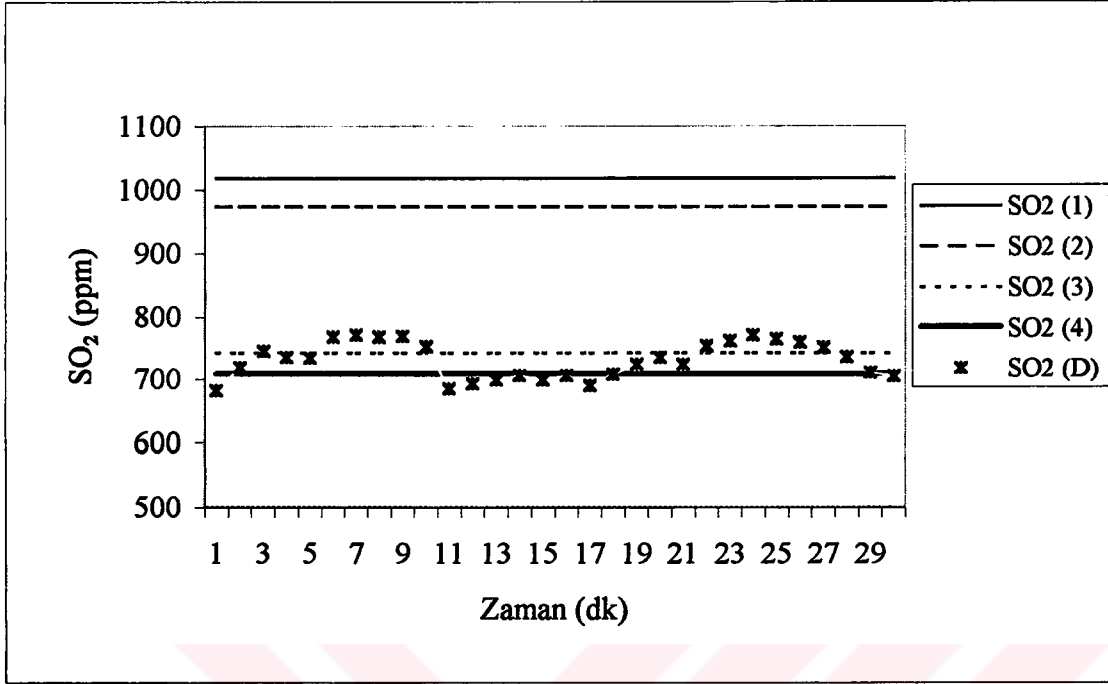
Daha öncede birçok kez bahsettiğimiz gibi, Türk linyitleri düşük kaliteli kömürlerdir. Özellikle, linyitlerimizin kükürt oranları, oldukça yüksektir. Çalışmamızda, kükürt oranı linyite göre oldukça düşük olan Tatlı-Sorgumun linyit ile karıştırılması sonucunda, oluşacak SO₂ konsantrasyonunun azalacağı düşünülmüştür. 6 ve 8.2 nolu bölümlerde yapılan teorik hesaplamalarda, bunu göstermektedir. Bu teorik hesaplamalara ilişkin değerler Tablo Ek-2.2’de verilmiştir. Bu tablodaki değerler gözden geçirildiğinde, teorik olarak, linyit + Tatlı-Sorgum karışımlarının yanması sonucu oluşan SO₂ konsantrasyonlarında düşüş olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmalarımızda llen SO₂ konsantrasyonları ile teorik değerler karşılaştırmalı olarak şekil 8.2.2.1, 8.2.2.2, 8.2.2.3 ve 8.2.2.4’de verilmektedir.

8.2.3 Azotoksit emisyonları

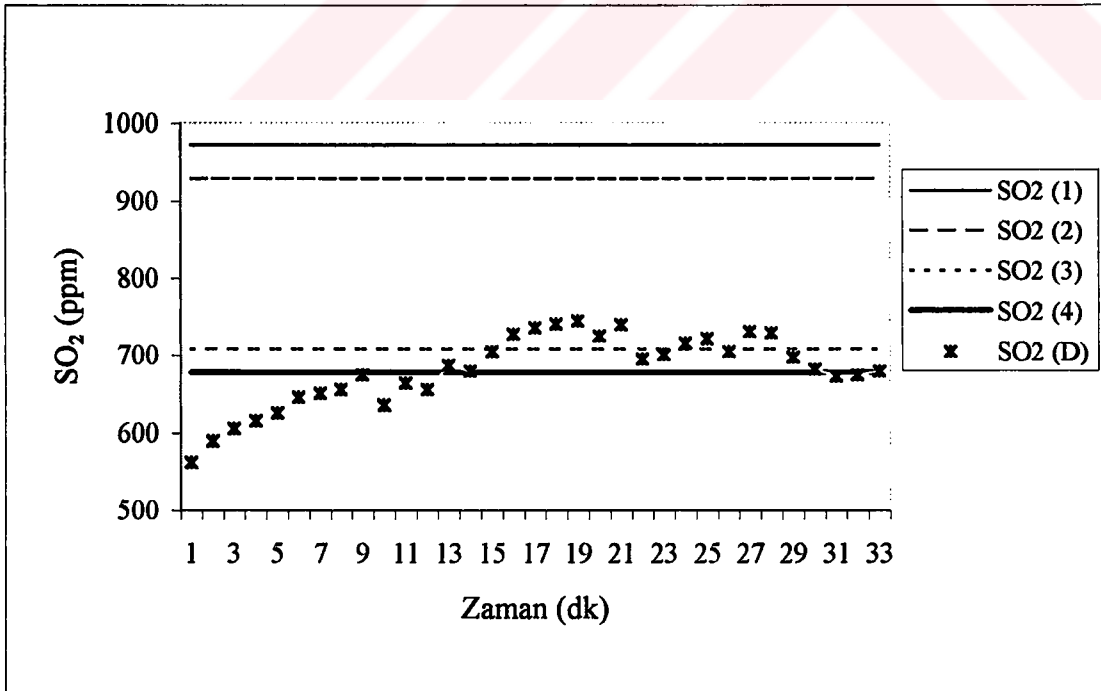
Fosil yakıtların yakılması sırasında, gerek yakıtta bağlı bulunan azot ve gerekse yakma havasındaki azot, tepkime koşullarında oksijen ile birleşerek N₂O, NO, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅ ve NO₃ gazlarını meydana getirir. Ancak bunlardan N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅ ve NO₃ kararsız yapıda oldukları için NO ve NO₂ verecek şekilde bozunurlar. Bu nedenle yanma gazlarında bulunan azotoksitleri NO ve NO₂ şeklinde olup, toplam azotoksit miktarı:



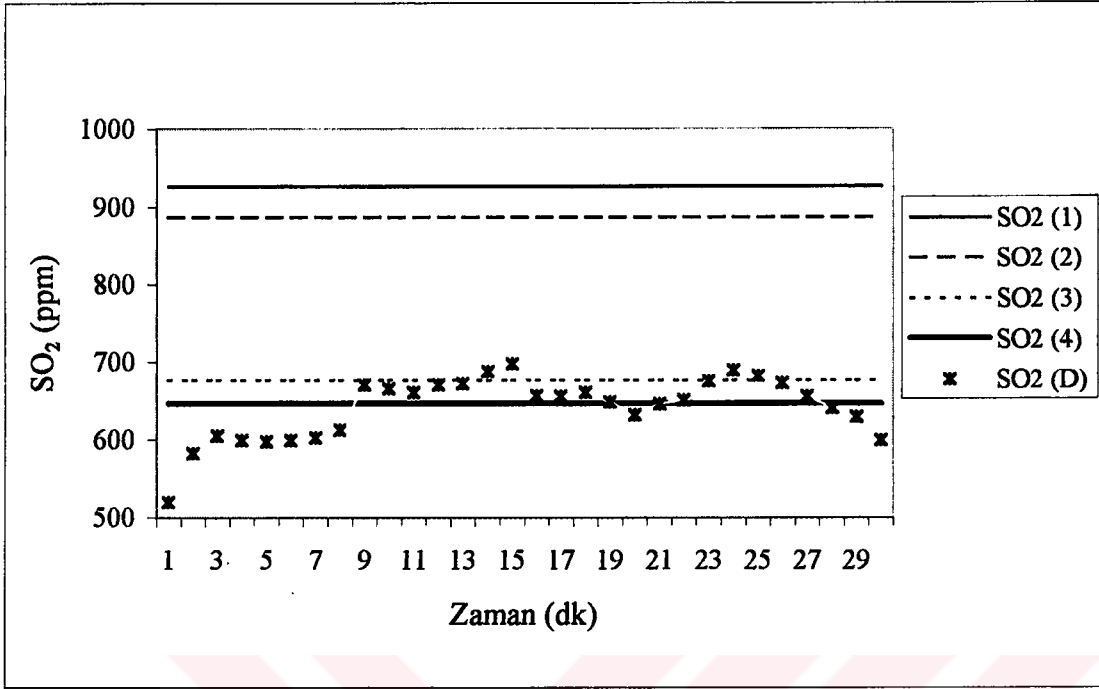
Kömürlerin yanması sonucu oluşan NO_x’lerin derişimi en yüksek iki bileşeni NO ve NO₂’dir. Taşkömürü ve linyitlerde genelde % 0,5 – 2 oranında aromatik halkaya bağlı olarak bulunan yakıt azotunun % 20 – 60 kadarı yanma sırasında NO’ya dönüşmekte ve toplam NO_x emisyonu içinde bu yakıt kökenli NO’nun payı % 80’e ulaşmaktadır. Güç santrallerinin baca gazındaki azot oksitlerin %95’ini NO, %5’ini ise NO₂ oluşturmaktadır. NO, atmosferdeki oksijen ile tepkimeye girerek NO₂’yi oluşturur. Azot oksitleri de su ile tepkimeye girerek asit oluştururlar. Bu oksitlerin atmosferde kalma süreleri yaklaşık bir haftadır; büyük bir kısmı asit veya nitratlar halinde çökerek kirliliğe neden olur.



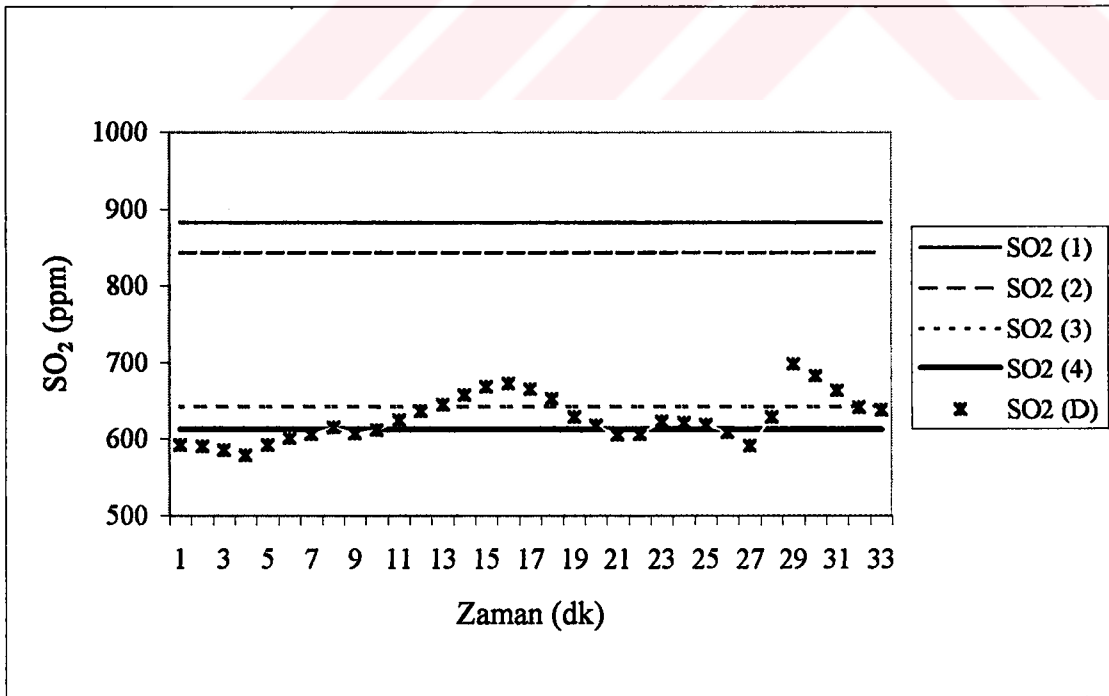
Şekil 8.2.2.1 Orhaneli linyiti için teorik ve deneysel SO₂ emisyonları



Şekil 8.2.2.2 %5 TS ve % 95 linyit karışımı için teorik ve deneysel SO₂ emisyonları



Şekil 8.2.2.3 % 10 TS ve % 90 linyit karışımı için teorik ve deneysel SO₂ emisyonları



Şekil 8.2.2.4 % 15 TS ve % 85 linyit karışımı için teorik ve deneysel SO₂ emisyonları

Yaptığımız deneysel çalışmalara ilişkin NO ve NO_x emisyonları, Şekil 8.2.3.1, 8.2.3.2, 8.2.3.3 ve 8.2.3.4'de görülmektedir. Bu şekillerdende görüldüğü gibi, linyit + Tatlı-Sorgum yakılması sonucunda oluşan azotoksit emisyonlarında, linyit yakılması sonucu oluşan azotoksit miktarlarına göre bir miktar artış gözlemlenmektedir. Bu artışın sebebi, yatak içindeki sıcaklıkların dalgalanması ve lokal olarak sıcaklığın ortalamanın üzerine çıkarak NO_x oluşum sınırını aşmasıdır. Fakat, bunlar yine de ihmal edilebilecek kadar küçük artışlardır (yaklaşık 20-25 ppm).

Dolayısı ile, linyit ve linyit + Tatlı-Sorgum karışımlarının yanması sonucu oluşan azotoksitler karşılaştırıldığında, olumsuz bir etki görülmemektedir.

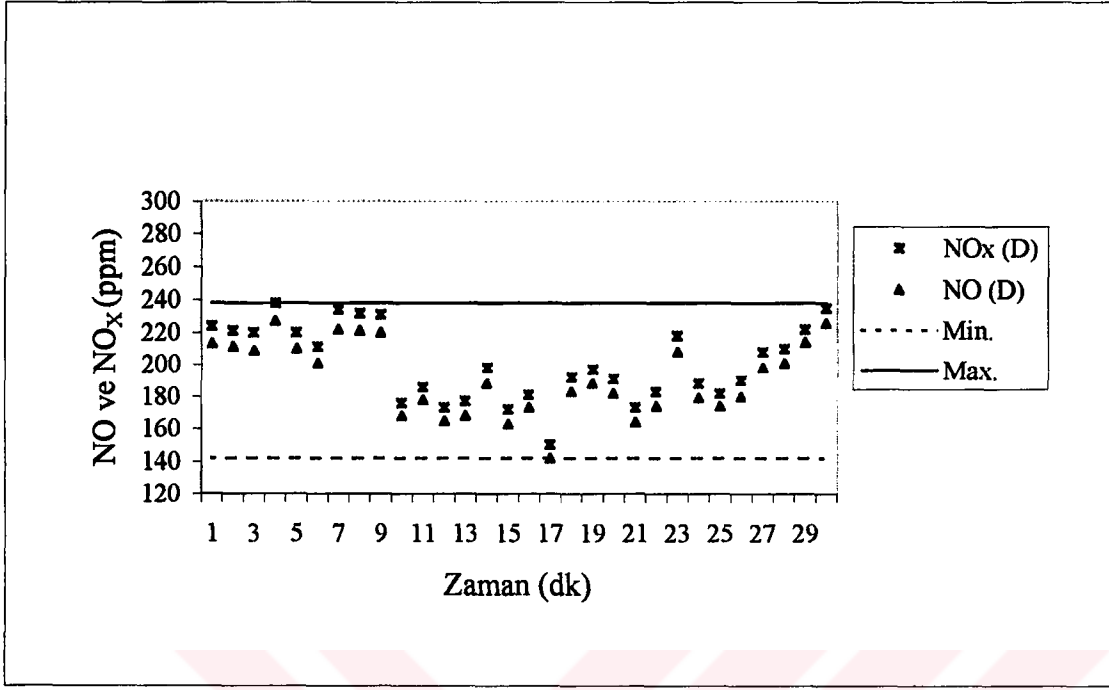
8.2.4 Oksijen konsantrasyonları ve teorik hava ihtiyaçları

Bilindiği gibi, yakma sistemleri için en önemli parametrelerden biri de teorik özgül hava miktarı ve hava fazlalık katsayısıdır.

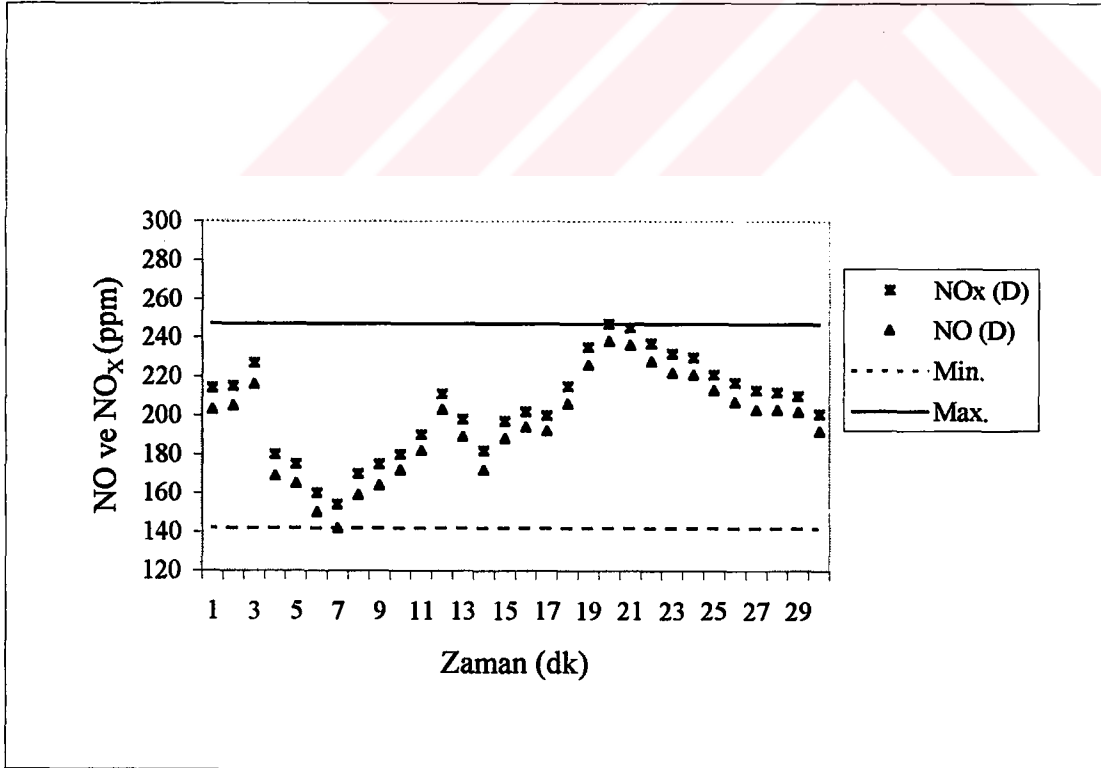
Yakma sistemlerinde yanma için gerekli oksijenin kaynağı havadır. Hava, oksijen, azot ve az miktarda su buharı, karbondioksit, argon ve diğer elemanların karışımı olmakla beraber, yanma olayında hacimsel olarak %21 oksijen, %79 azot olarak kabul edilir.

İdeal durumda yanma olayı, oksijen ve yakıt elemanlarının teoride istenen tam oranlarda (stokiometrik oran) karıştırılması ile meydana gelir. Ancak bir yakma sistemini fazladan oksijen göndermeksizin teorik seviyede oksijenle istenilen biçimde çalıştırmak mümkün değildir. Pratikte iyi yanma şartlarına, atmosferden alınan fazla hava şeklinde, sisteme fazladan oksijen beslenmesi ile ulaşılır. Bu fazla hava miktarı yakıtın ve yakma elemanlarının cinsine göre değişir.

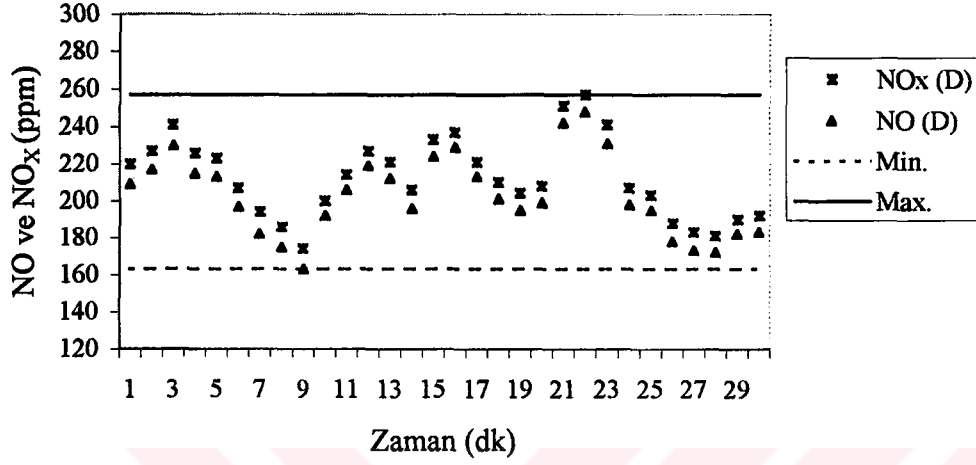
İyi bir yanmanın amacı, yanmadaki verimsizlikler ve fazla hava sebebi ile olan kayıpları en aza indirerek yakıtta mevcut bütün ısı enerjisinin tamamının açığa çıkartılmasıdır. Yanabilen elemanlarla oksijenin birleşmesi, tutuşma için yeteri kadar yüksek sıcaklığa, çok iyi bir karışıma (türbülans) ve yanmanın tamamlanması için yeterli bir zamana gerek gösterir.



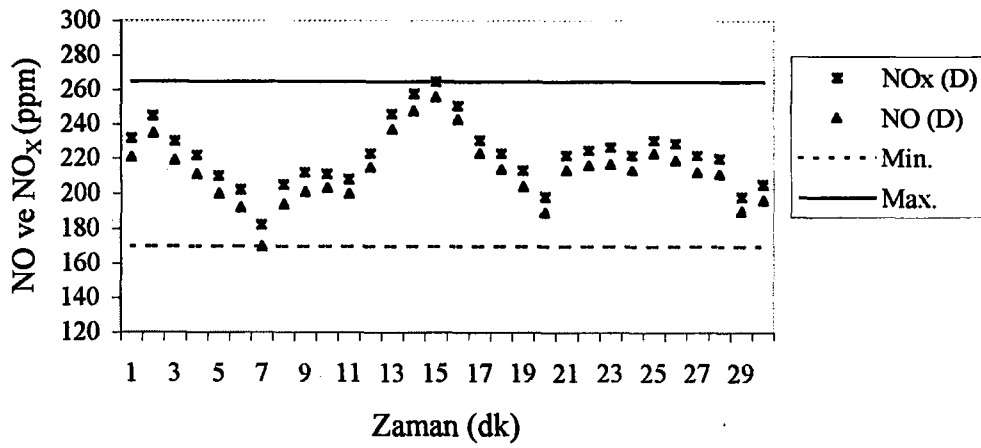
Şekil 8.2.3.1 Orhaneli linyiti için deneysel NO ve NO_x emisyonları



Şekil 8.2.3.2 % 5 TS ve % 95 linyit karışımı için deneysel NO ve NO_x emisyonları



Şekil 8.2.3.3 % 10 TS ve % 90 linyit karışımı için deneysel NO ve NO_x emisyonları



Şekil 8.2.3.4 % 15 TS ve % 85 linyit karışımı için deneysel NO ve NO_x emisyonları

6 ve 8.1 nolu bölümlerde bahsedilen yanma hesaplarındaki yanma reaksiyonu denklemlerinde teorik oksijen ihtiyacı esas alınmıştır. Bu bölümlerde hesaplanan v_{h0} hava miktarı, teorik bir değerdir. Pratikte ise, yukarıda da bahsettiğimiz gibi, yanma için gerekli havayı, bu değerden daha fazla göndermek gerekmektedir. Gerçek hava miktarı v_h olarak hesaplanmıştır.

Yakma sistemlerinde ocak boyutlarının hesaplanmasında, teorik hava ihtiyacı ve hava fazlalık katsayısı oldukça önemli bir parametredir. Sisteme beslenecek olan hava debisi, ocak boyutlarını doğrudan etkiler. Akışkanlaşma hızı (u) ile elek çapı (d) arasındaki bağıntı:

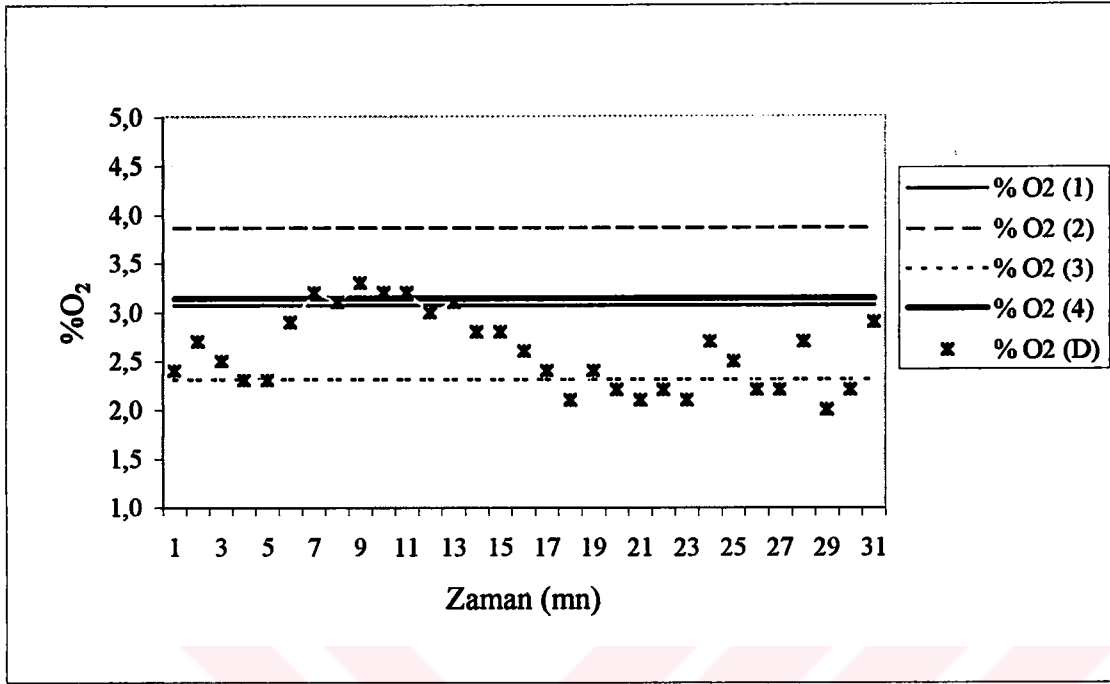
$$v_h = u * \pi d^2$$

olduğu gözönüne alındığında, ocak boyutları ile hava ihtiyacı arasındaki ilişki rahatlıkla görülebilir.

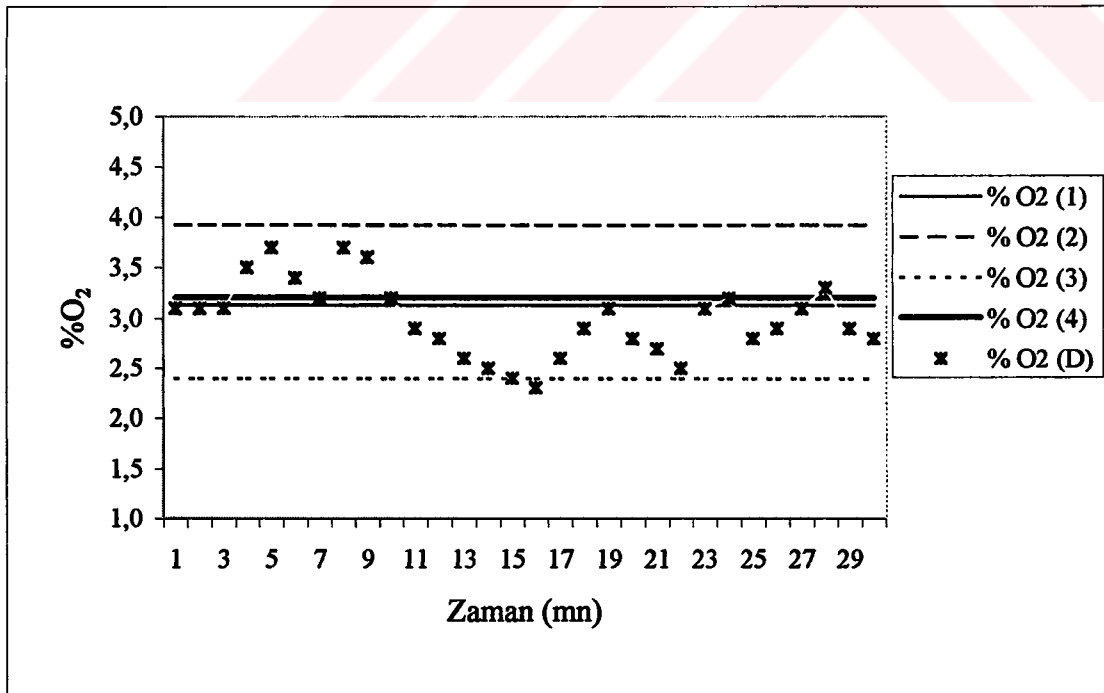
Linyit ve linyit + Tatlı-Sorgum yakılması ile ilgili teorik hava ihtiyaçları Tablo Ek-2.3 'de verilmiştir. Bu tablodan da görüldüğü gibi, linyit yerine Tatlı-Sorgum kullanılan karışım oranları için, teorik hava ihtiyacı miktarı düşmektedir. Bunun en önemli nedeni, Tatlı-Sorgumun içerdiği oksijen miktarıdır.

Deneysel çalışmalarımızda, Orhaneli linyiti yakılırken, hava fazlalık katsayısı $n=1,20$ olacak şekilde, $v_h=12 \text{ m}^3/\text{h}$ debisinde hava beslenmiştir. Bu havanın $11 \text{ m}^3/\text{h}$ 'i akışkanlaşma için kullanılırken, $1 \text{ m}^3/\text{h}$ 'i kömür besleme hattından verilmiştir. Daha önce yapılan ön deneyler sırasında, yakma sistemimizde minimum akışkanlaşma için gereken hava $\sim 11 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak belirlenmiştir. Ancak, yapılan teorik hesaplamalardan da görüldüğü gibi, TS karışımlarının eklenmesiyle birlikte yakma havası miktarı azalmakta, bu da akışkanlaşmanın bozulmasına neden olmaktadır. Bu yüzden deneysel çalışmalar sırasında TS karışımlarının yakılması esnasında sisteme beslenen hava miktarı sabit tutularak $v_h=12 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak alınarak kararlı bir yanma sağlanabilmektedir.

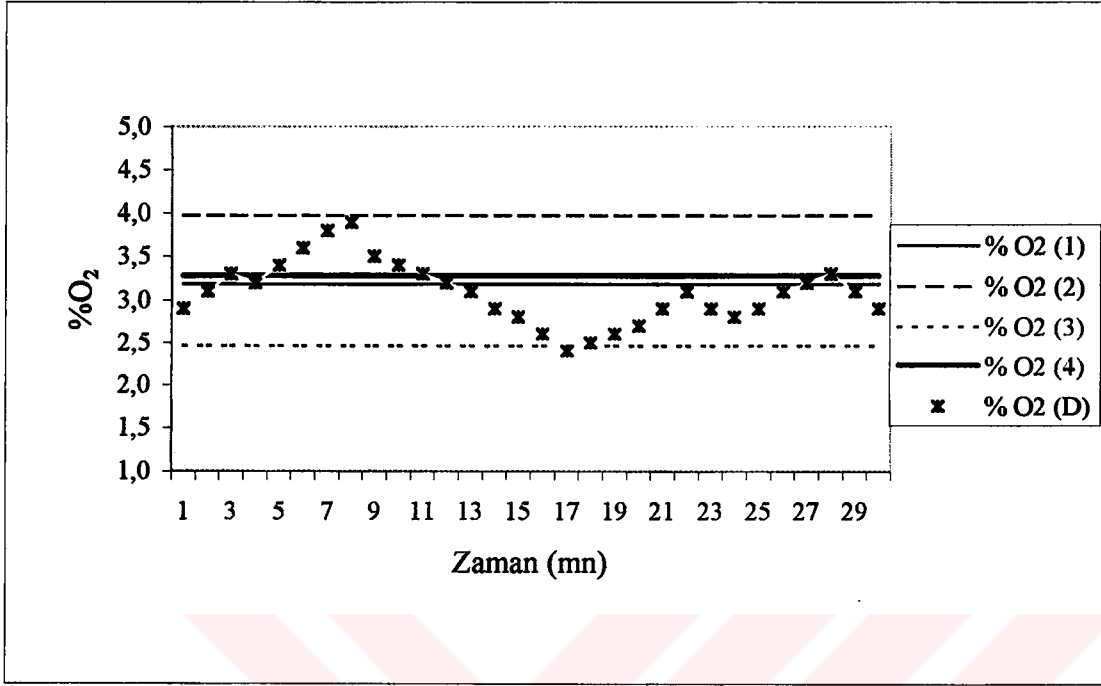
6 ve 8.1 nolu bölümlerde anlatılan teorik hesaplamalar ile belirlenen oksijen konsantrasyonları Tablo Ek-2.4'de verilmiştir. Deneyler sırasında kaydedilen O_2 konsantrasyonları, Şekil 8.2.4.1, 8.2.4.2, 8.2.4.3 ve 8.2.4.4'de verilmiştir.



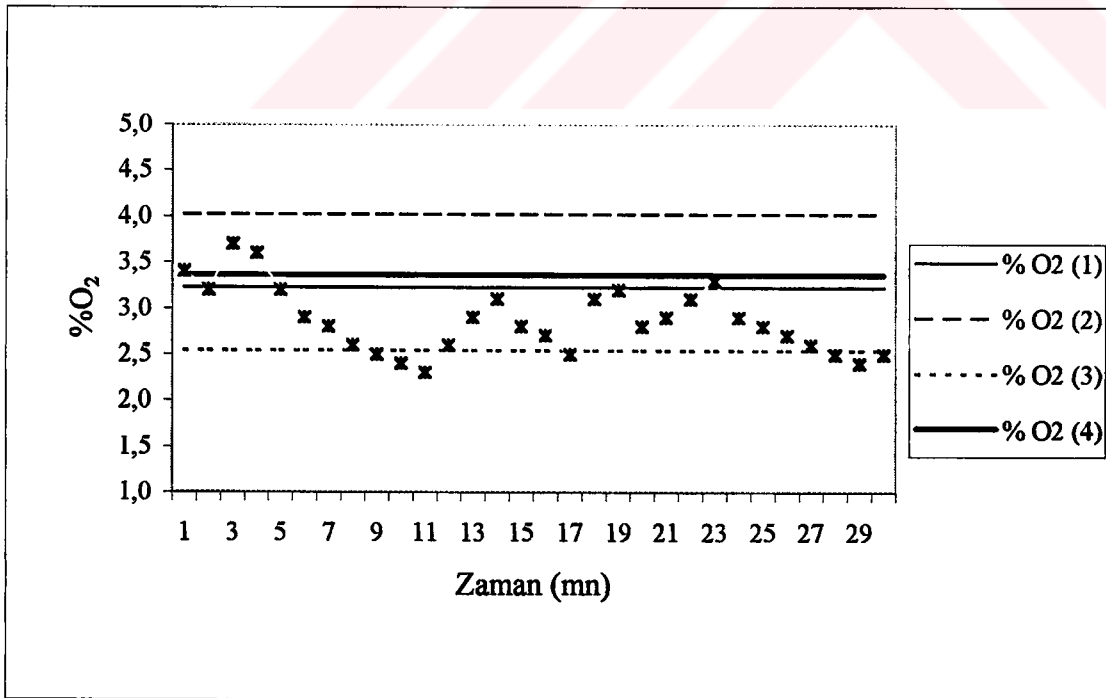
Şekil 8.2.4.1 Orhaneli linyiti için teorik ve deneysel O_2 emisyonları



Şekil 8.2.4.2 % 5 TS ve % 95 linyit karışımı için teorik ve deneysel O_2 emisyonları



Şekil 8.2.4.3 % 10 TS ve % 90 linyit karışımı için teorik ve deneysel O₂ emisyonları



Şekil 8.2.4.4 % 15 TS ve % 85 linyit karışımı için teorik ve deneysel O₂ emisyonları

8.3 Sıcaklık dağılımları ve aglomerasyon

Akışkan yataklı yakma sistemleri dizaynında, parametrelerin belirlenmesi için yatak içi ve serbest bölge sıcaklık dağılımları ile aglomerasyon sıcaklıklarının bilinmesi gerekmektedir. Bu bölümde yapılan deneysel çalışmalar ile bu dağılımları ve aglomerasyon sıcaklığını belirlemeye çalıştık.

8.3.1 Sıcaklık dağılımları

Linyit ve linyit + Tatlı-Sorgum karışımlarının yakılması ile ilgili deneylerde, akışkan yataklı yakma sistemimizde, dağıtıcı elekten itibaren 25, 65, 110, 185, 450 ve 1160 mm. yüksekliklere yerleştirilen ısı çiftleri ile, sırasıyla T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 ve T_6 sıcaklıkları kaydedilmiştir.

Deneyler sırasında gözlemlenen en önemli olay, linyit sırasında daha homojen ve kararlı bir sıcaklık eğrisi oluşurken, karışımların yanması sırasında kararsız bir sıcaklık dağılımının oluşmasıdır. Burada en büyük etken, linyit beslemesi sırasında homojen bir besleme sağlanabilirken, karışımların beslenmesi sırasında aynı homojenliğin sağlanamamasıdır. Burada, linyit + Tatlı-Sorgum karışımlarının yakılması için özel bir besleme sistemi dizaynının gerekliliği birkez daha vurgulanmaktadır. Daha önce de belirttiğimiz gibi, akışkan yataklı yakma sistemimizde, linyit + Tatlı-Sorgum karışımları, en fazla %15 Tatlı-Sorgum + %85 linyit için gerçekleştirilebilmiştir. Daha yüksek oranlarda karışımlar denendiği zaman, helezon içinde sıkışmalar nedeniyle sürekli bir besleme ve kararlı yanma sağlanamamıştır.

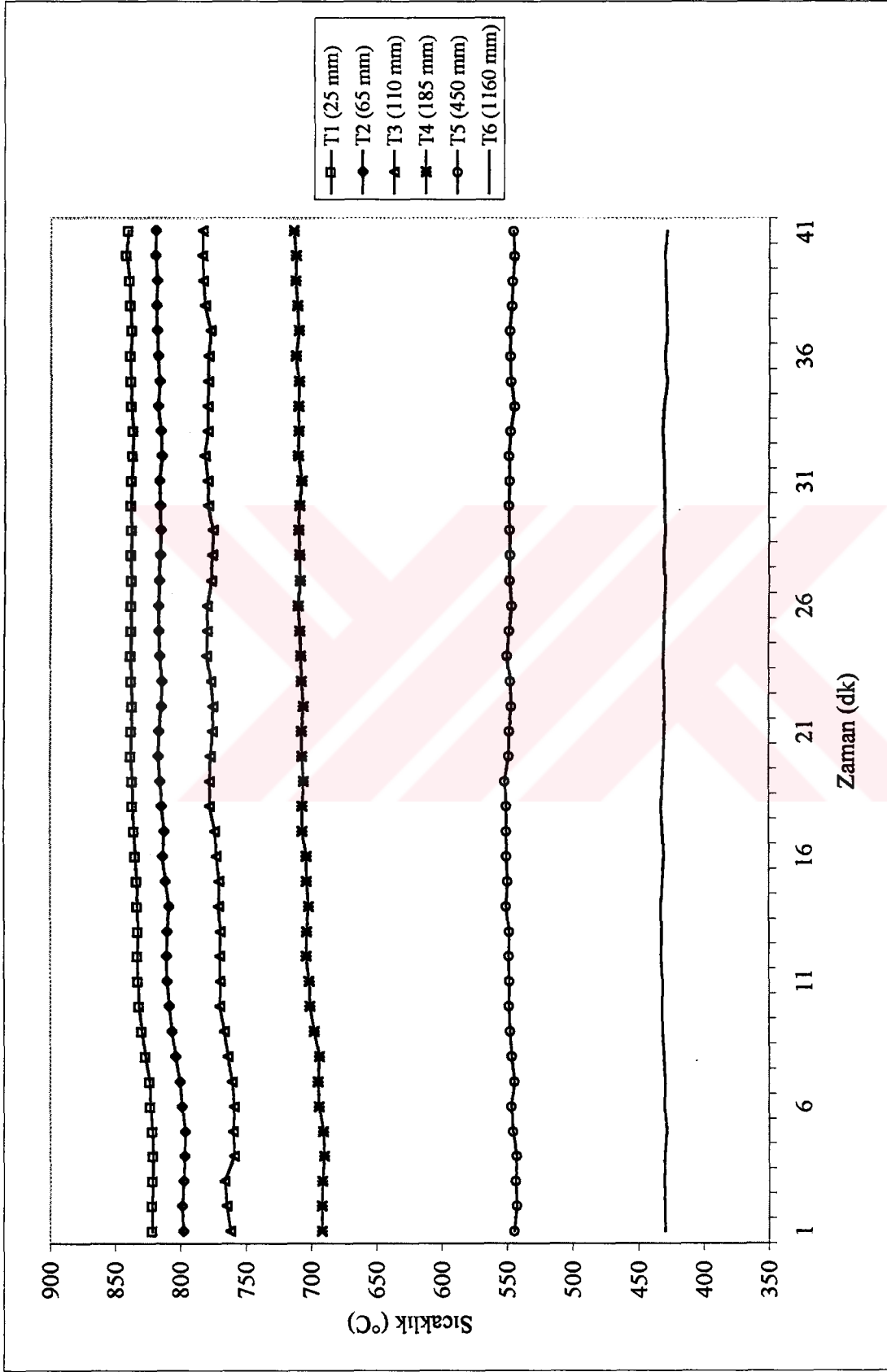
Linyit ve linyit + Tatlı-Sorgum karışımlarının yakıldığı deneylere ait sıcaklık dağılımları Şekil 8.3.1.1, 8.3.1.2, 8.3.1.3 ve 8.3.1.4'de verilmektedir. Her bir sıcaklık değerinin, linyit ve linyit + Tatlı-Sorgum karışımları için karşılaştırmalı dağılımları ise Şekil 8.3.1.5, 8.3.1.6, 8.3.1.7, 8.3.1.8, 8.3.1.9, ve 8.3.1.10'da verilmiştir. Bu grafiklerde yer alan sıcaklık değerleri, sistem rejime girdikten sonra yaklaşık 40 dakika süre ile kaydedilerek belirlenmiştir. Bu 40 dakikalık zaman dilimi içinde kaydedilen sıcaklıkların ortalaması alınarak Tablo 8.3.1.1 oluşturulmuştur. Bu

Tablo 8.3.1.1 Deneysel sıcaklıkların ortalama değerleri ve farkları

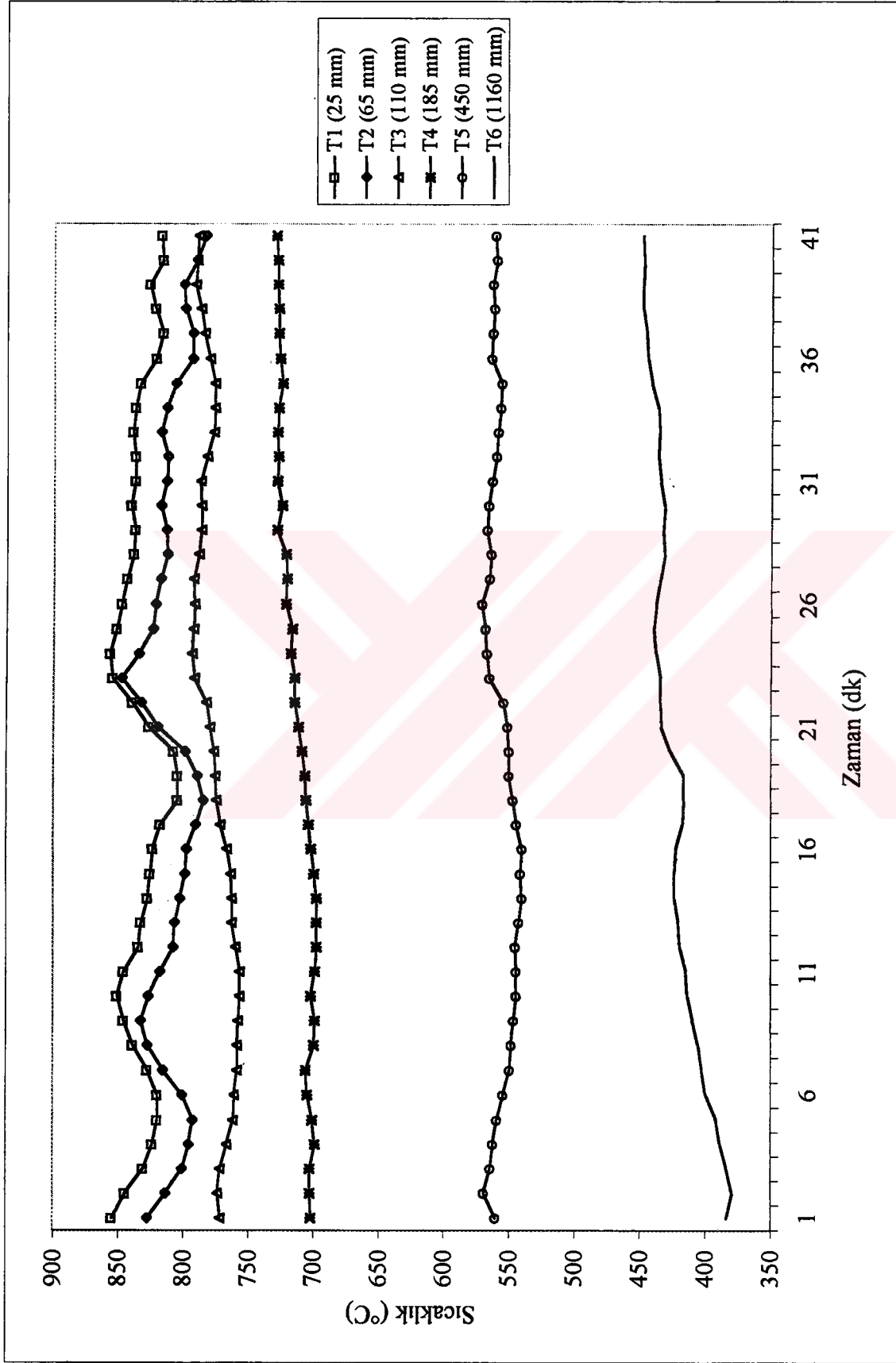
Yakıt cinsi	SICAKLIK (°C)						SICAKLIK FARKLARI				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₁ -T ₂	T ₁ -T ₃	T ₁ -T ₄	T ₁ -T ₅	T ₁ -T ₆
Linyit	834	812	774	705	548	431	22	60	129	286	403
%5 sorgum	833	810	776	713	557	424	23	57	120	276	409
%10 sorgum	838	816	780	723	566	440	22	58	115	272	398
%15 sorgum	846	826	786	730	575	444	20	60	116	271	402

Bu tablodan da görüldüğü gibi, karışımların yanması sırasında, sorgum karışım oranı arttıkça, yatak üstü ve serbest bölge sıcaklıklarında artış kaydedilmektedir. Bunun başlıca sebebi, Tatlı-Sorgumun oldukça hafif bir bitki olması ve yanma esnasında, akışkanlaştırma havasının da etkisiyle taşınması ve serbest bölge içinde yanmayı sürdürmesidir.

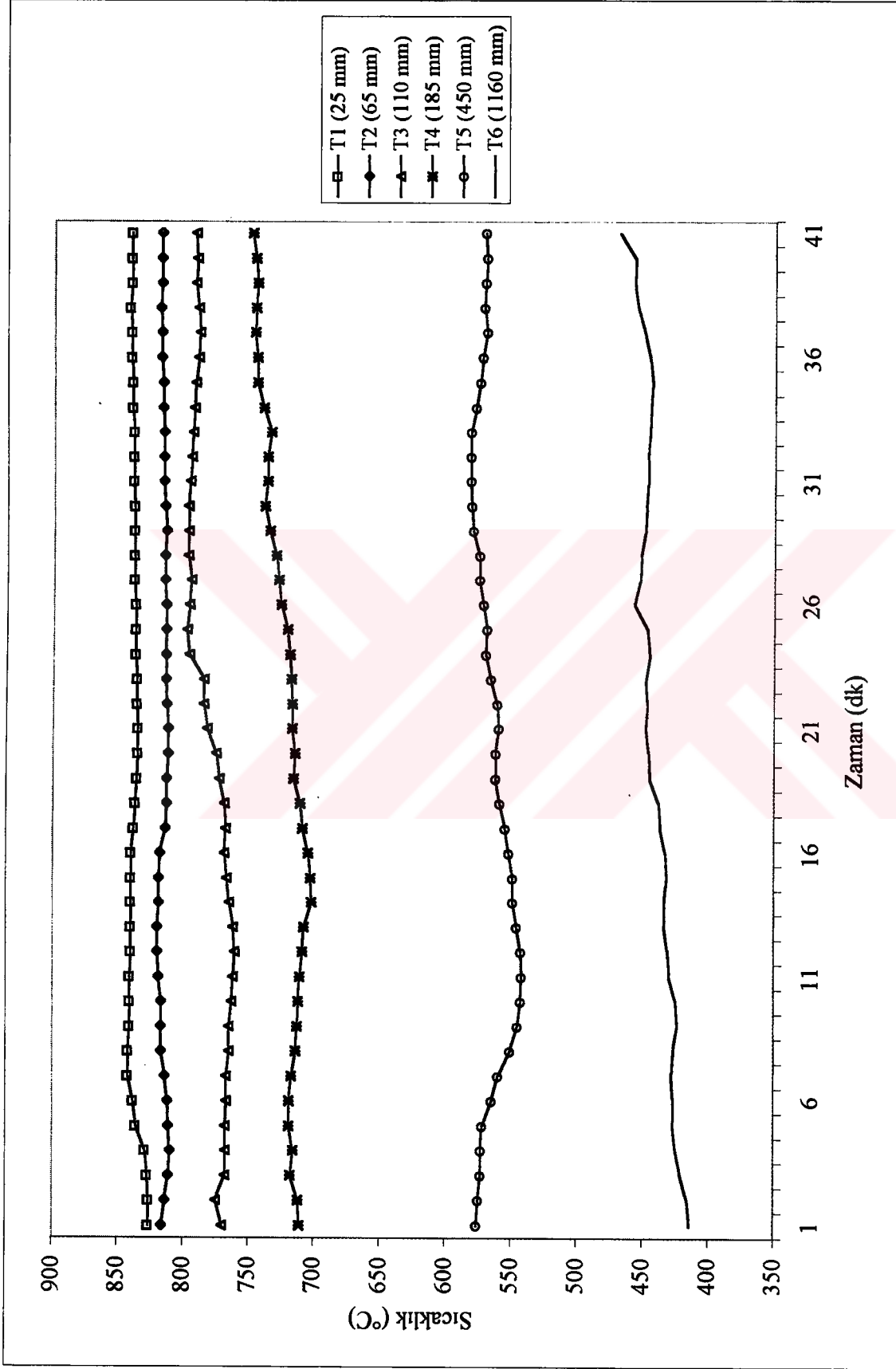
Bu sürüklenmenin sonucunda oluşan sıcaklık artışı, akışkan yataklı yakma sistemlerinin dizaynında, ısı değiştirgeçlerinin yerleşim yerleri için bir fikir vermektedir.



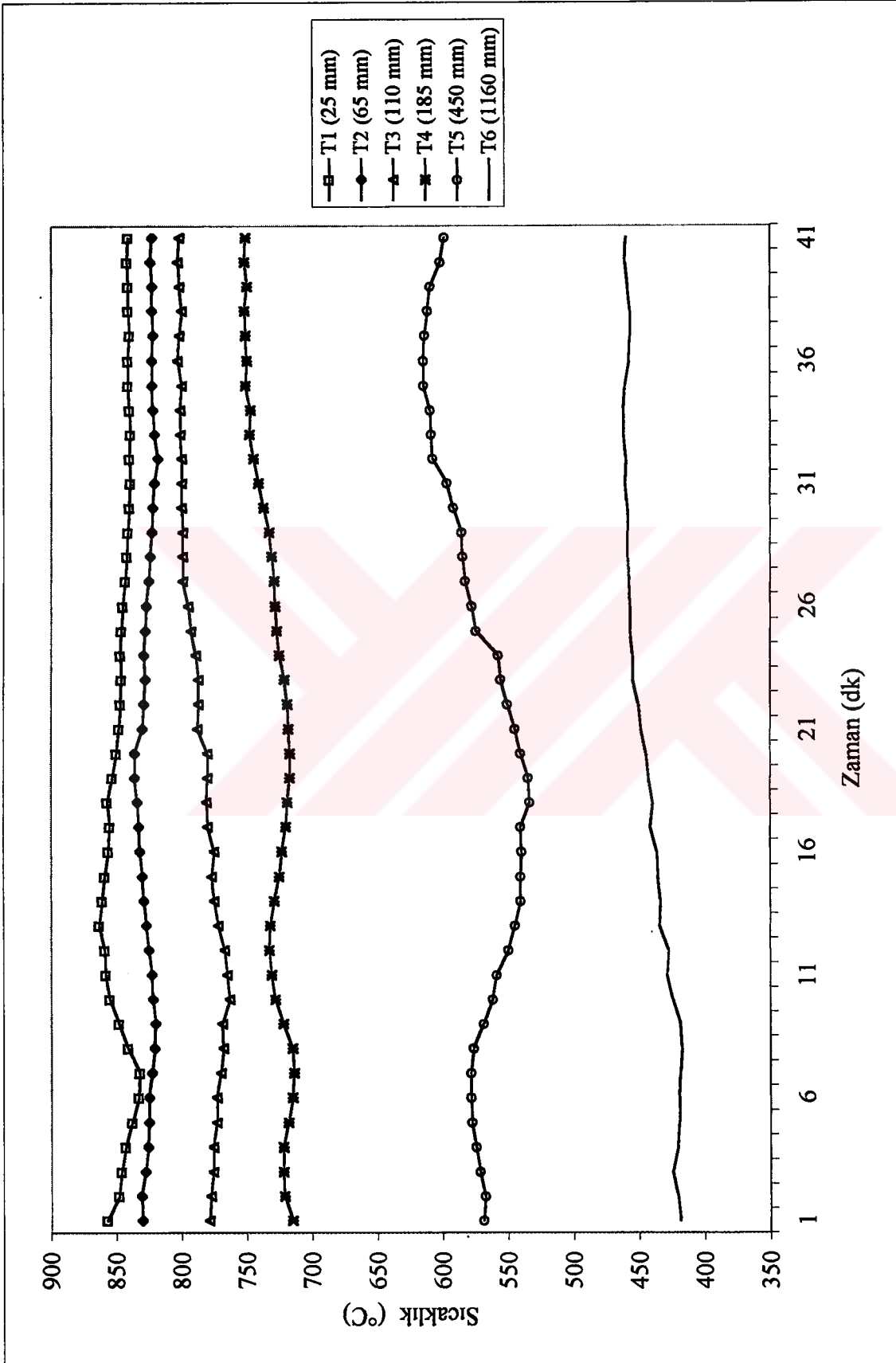
Şekil 8.3.1.1 Orhaneli linyiti için deneysel sıcaklık dağılımı



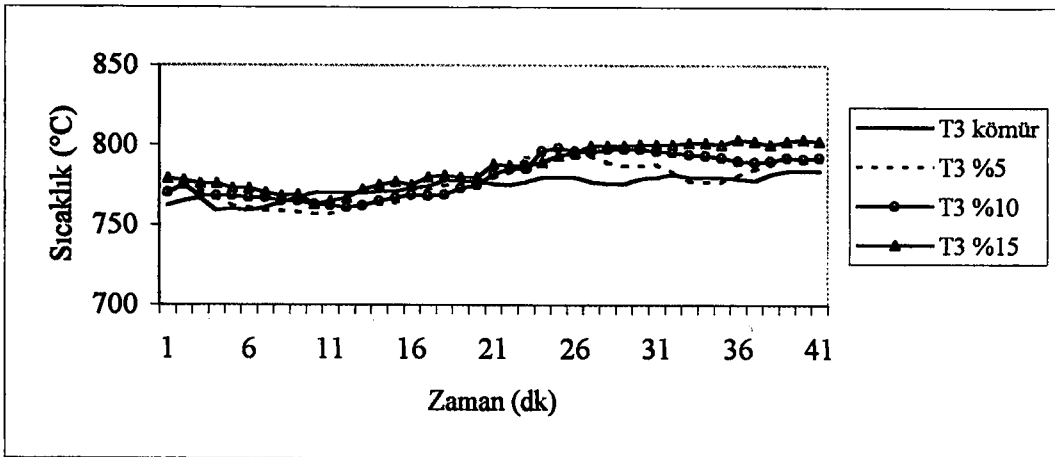
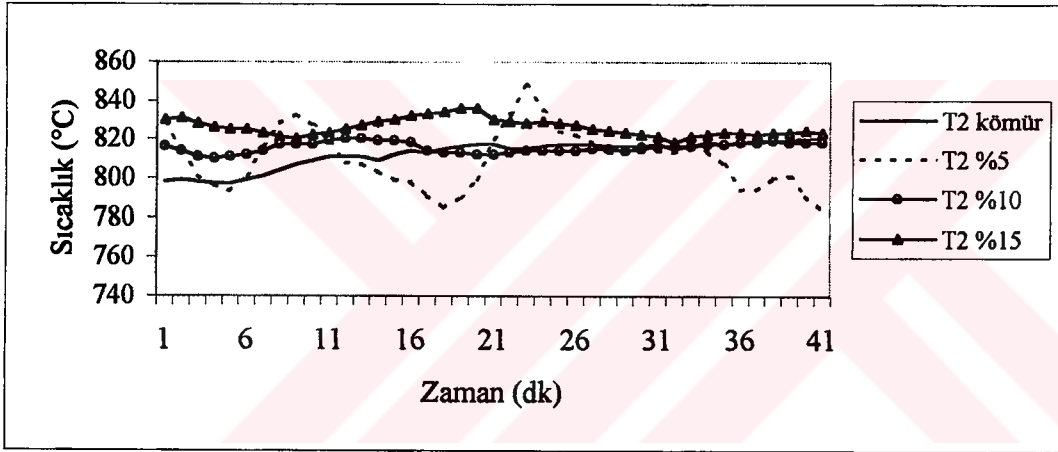
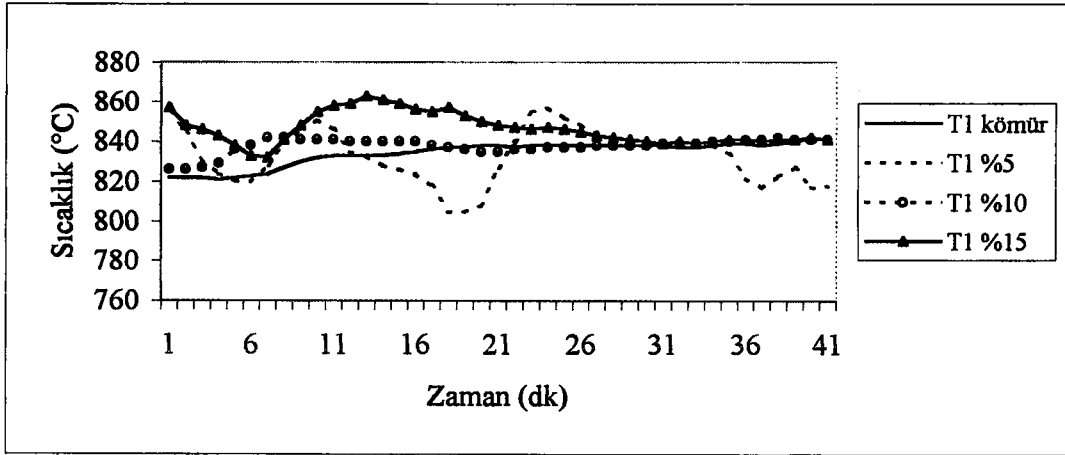
Şekil 8.3.1.2 % 5 linyit karışımı için deneysel sıcaklık dağılımı

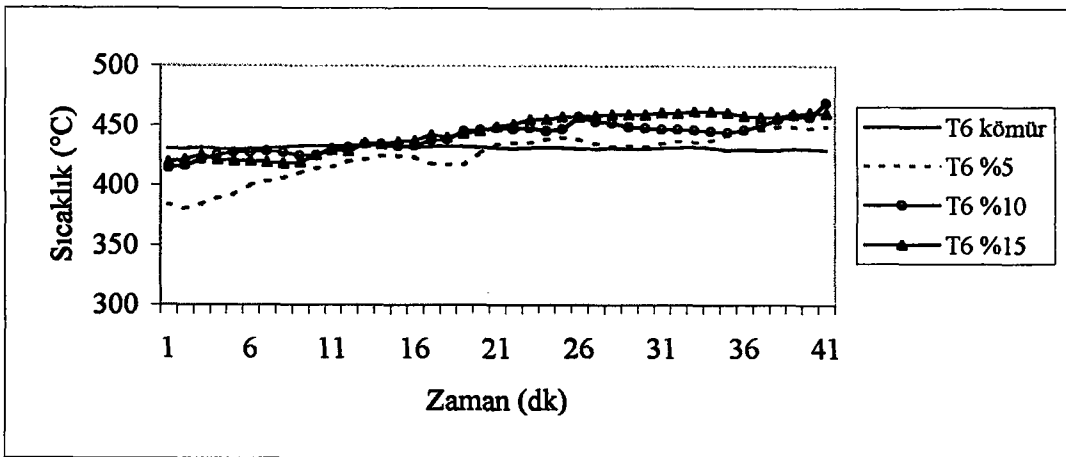
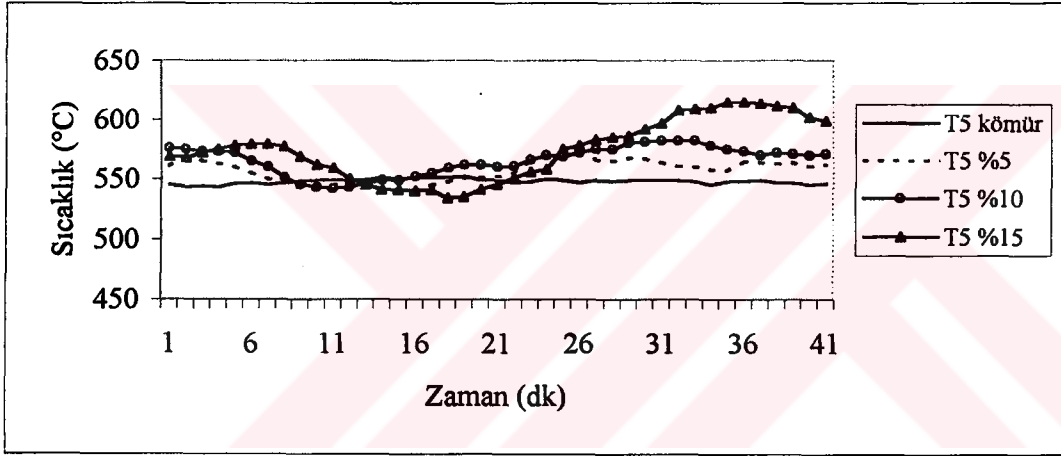
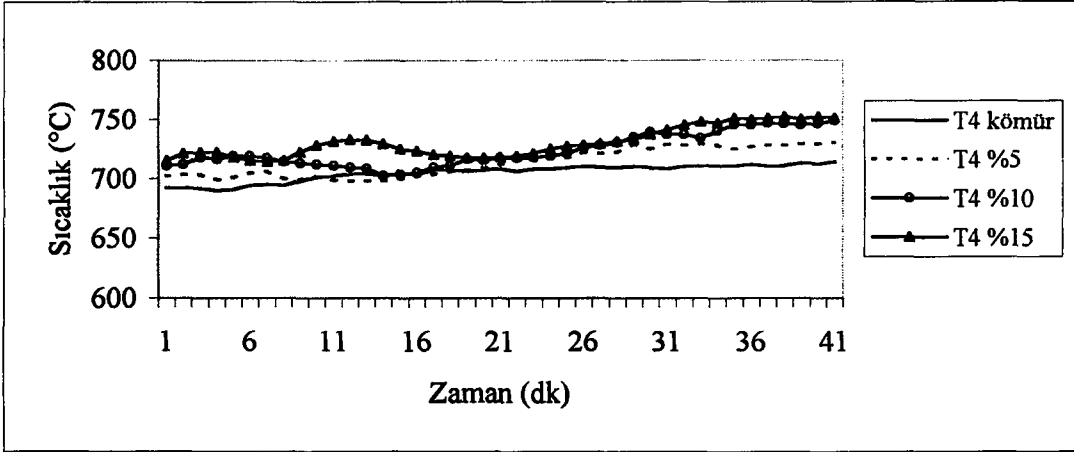


Şekil 8.3.1.3 % 10 TS ve % 90 linyit karışımı için deneysel sıcaklık dağılımı



Şekil 8.3.1.4 %15 TS ve % 85 linyit karışımı için deneysel sıcaklık dağılımı





8.3.2 Linyit için aglomerasyon sıcaklığının belirlenmesi

Kömürün içermiş olduğu kül, kömür proseslerinde, özellikle de yakma sistemlerinde, önemli sorunlara neden olabilmektedir. Izgaralı yakma sistemlerinde sinterleşme ve kekleşme, akışkan yataklı yakıcılarda aglomerasyon, ısı aktarım yüzeylerinde kül birikmesi bunlardan bazılarıdır. Bu sorunları azaltmak için küllerin davranımının bilinmesi büyük önem taşımaktadır.

Akışkan yatakta yanma olayında pekçok konuda olduğu gibi, aglomerasyon oluşumu ve nedenleri hakkında da mevcut bilgiler sınırlıdır. Aglomerasyon ile ilgili yürütülmüş olan deneysel çalışmalar boyunca yapılan gözlemlerde, kömürün yanma sürecinde aglomerasyon başlangıcının, yatak içi sıcaklık dağılımı ve basınç düşüşü değerlerine yansıdığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, dağıtıcı elek civarında sıcaklığın yavaş ancak sürekli bir şekilde düştüğü, aktif yatak ve serbest bölge sıcaklıklarının ise arttığı belirtilmiştir.

Aglomerasyonun genelde yatakta bir durgunlaşma sonrası geliştiği ve oluşumunda tanecik boyutunun, tanecik momentumunun, anorganik yapısının (yapışkanlığının) ve yatak sıcaklığının etkisinde pekçok araştırıcı birleşmektedir (Goldberger, 1962; Saxena ve Rahmet, 1978).

Küllerin davranımını belirlemek için kullanılan yöntemlerden birisi, kül ergime özelliklerinin incelenmesidir. Akışkan yataklı yakma sistemlerinde karşılaşılan aglomerasyon olayının, temel olarak külün yapısal özelliklerinden kaynaklandığı bilinmektedir (Siegel, 1976; Atakül ve Ekinci, 1989). Özellikle külün içermiş olduğu Na_2O ve benzeri oksitlerin küllerin sinterleşmesinde ve aglomerasyonunda önemli bir rol oynadıkları bilinmektedir (Atakül vd., 1987; Jung ve Schobert, 1992; Manzoori ve Agarwal, 1994). Aglomerasyon olayının küllerin yapısal özelliklerinin yanı sıra, akışkan yatak operasyon koşulları tarafından da etkilendiği bilinmektedir. Ancak sinterleşme konusunda yapılan çalışmalara rağmen, küllerin ergime özellikleri ile akışkan yatak koşullarında ortaya çıkan aglomerasyon olayı arasındaki ilişki henüz yeterince açıklanabilmiş değildir.

Birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalardaki deneysel bulgular, kömürlerin anorganik yapılarından hareket ederek bunların aglomerasyon özellikleri hakkında kesin yargılara varmanın oldukça güç olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak alkali oksit, özellikle sodyum oksit oranları yüksek olan kömürlerin aglomerasyona daha yatkın oldukları görüşüne varılmıştır.

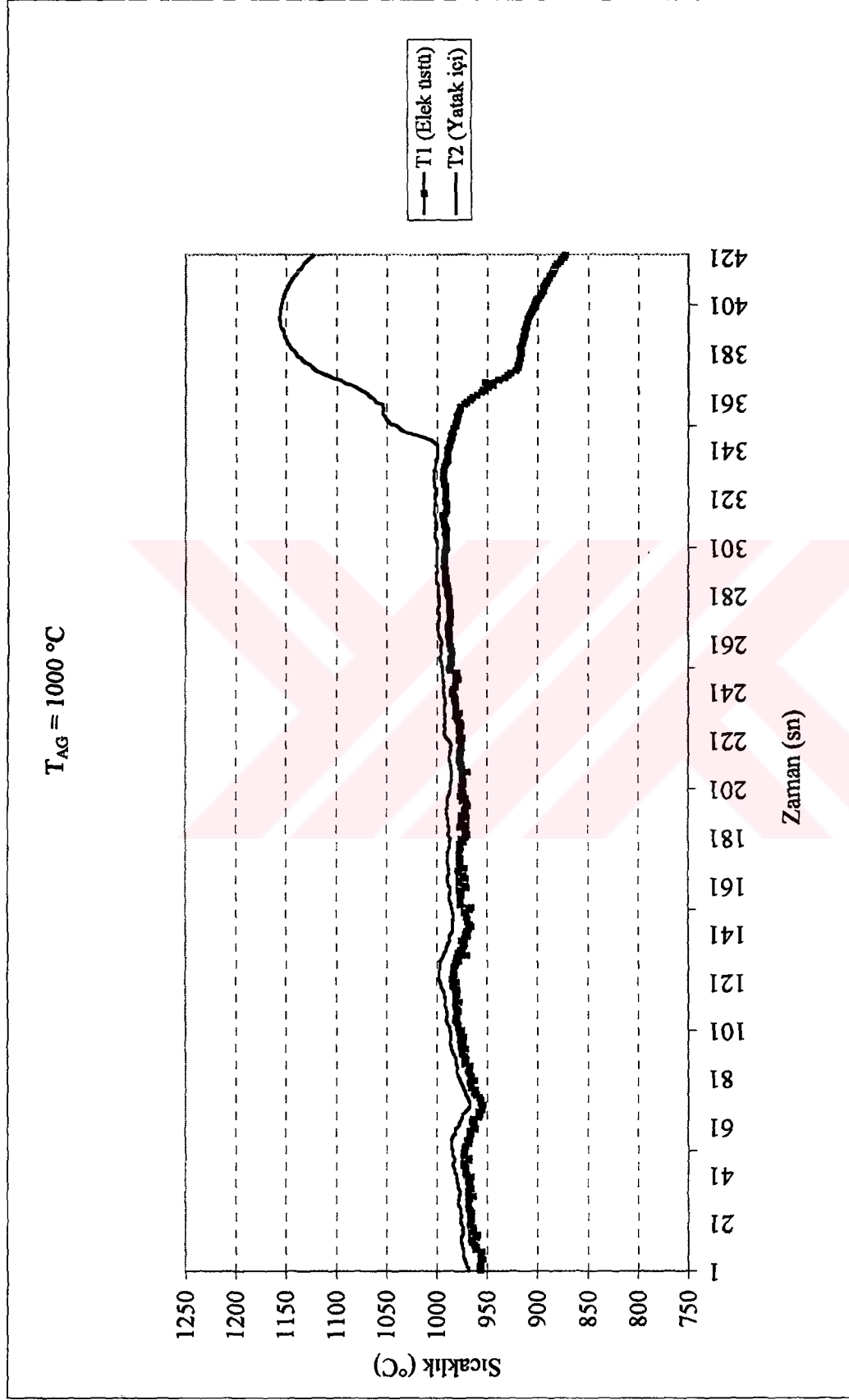
Aglomerasyon büyük ölçüde kömürlerin özelliklerinden kaynaklanıyor olmasına karşın, operasyon koşulları tarafından da etkilenebilen oldukça karmaşık bir olaydır (Goblirsch ve Talty, 1980; Basu, 1982; Atakül ve Ekinci). Örneğin yüksek oranlarda Na_2O içeren bir kömürü yüksek operasyon hızlarında çalışan bir akışkan yatakta yakmak mümkün olabilmektedir. Buna karşın kömürdeki kül oranının yüksek olması, yatakta çok miktarda külün birikmesi ve operasyon hızının düşük olması aglomerasyona duyarlı bir ortam yaratabilmektedir.

Deneysel çalışmalarımızda kullandığımız Orhaneli linyitinin aglomerasyon sıcaklığını belirleyebilmek için, kömür 0,50-1,00 mm, 1,00-2,00 mm ve 2,00-2,34 mm elek aralıklarında elenerek 3 farklı numune hazırlanmıştır. Linyit külünün özgül sıcaklıkları, yani, başlangıç deformasyon (T_D), yumuşama (T_S), yarı küreselleşme (T_H) ve ergime sıcaklıkları (T_F), her üç numune için, LECO AF-500 model bir cihaz kullanılarak ASTM D-187 yöntemine uygun olarak analiz edilmiştir. Özgül kül sıcaklıkları oksitleyici fırın atmosferinde ölçülmüştür. Bu sıcaklık değerleri Tablo 8.3.2.1’de verilmiştir.

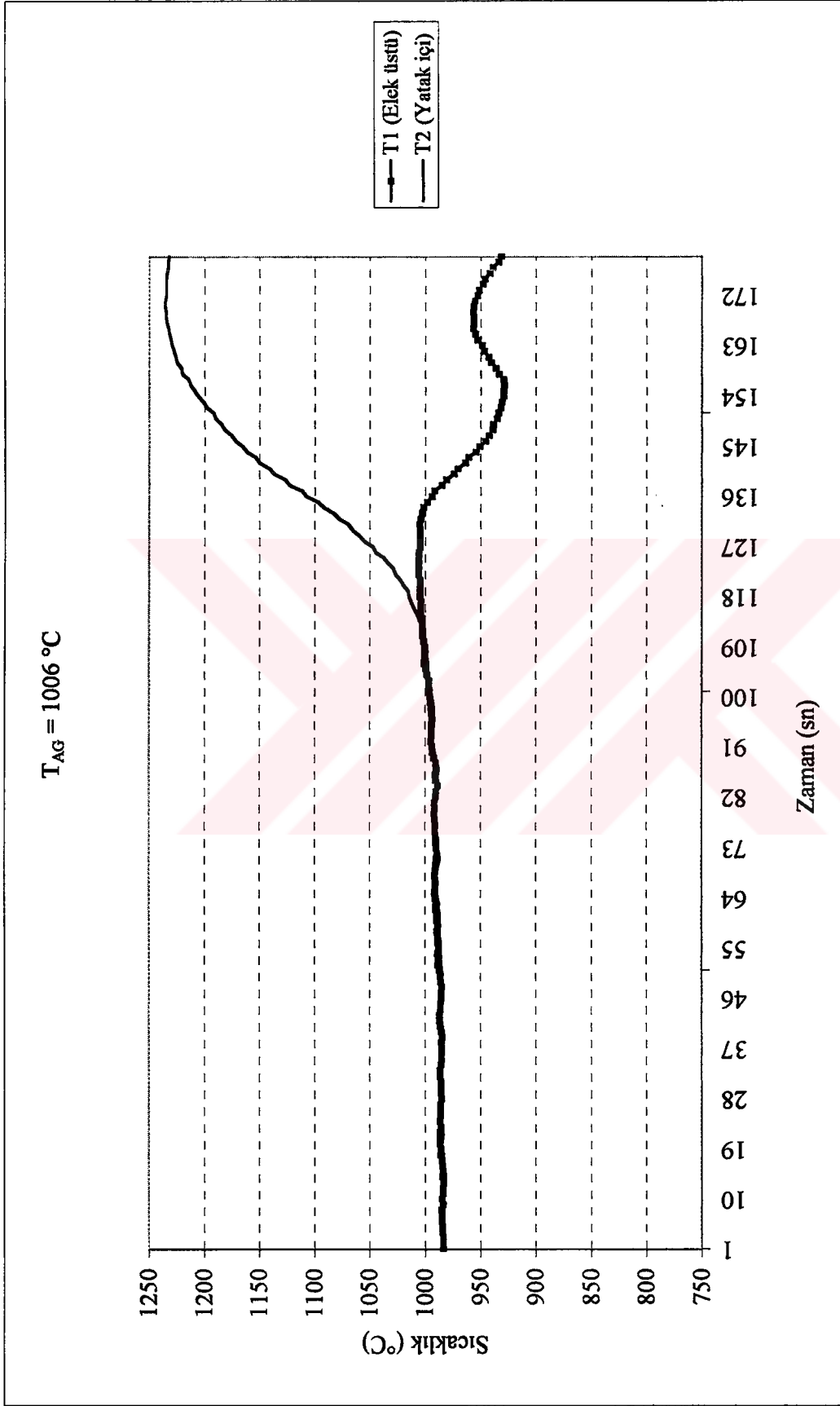
Tablo 8.3.2.1 Orhaneli linyitinin özgül kül sıcaklıkları (°C)

Özgül Kül Sıcaklıkları (°C)			
T_D	T_S	T_H	T_F
1167	1205	1239	1267

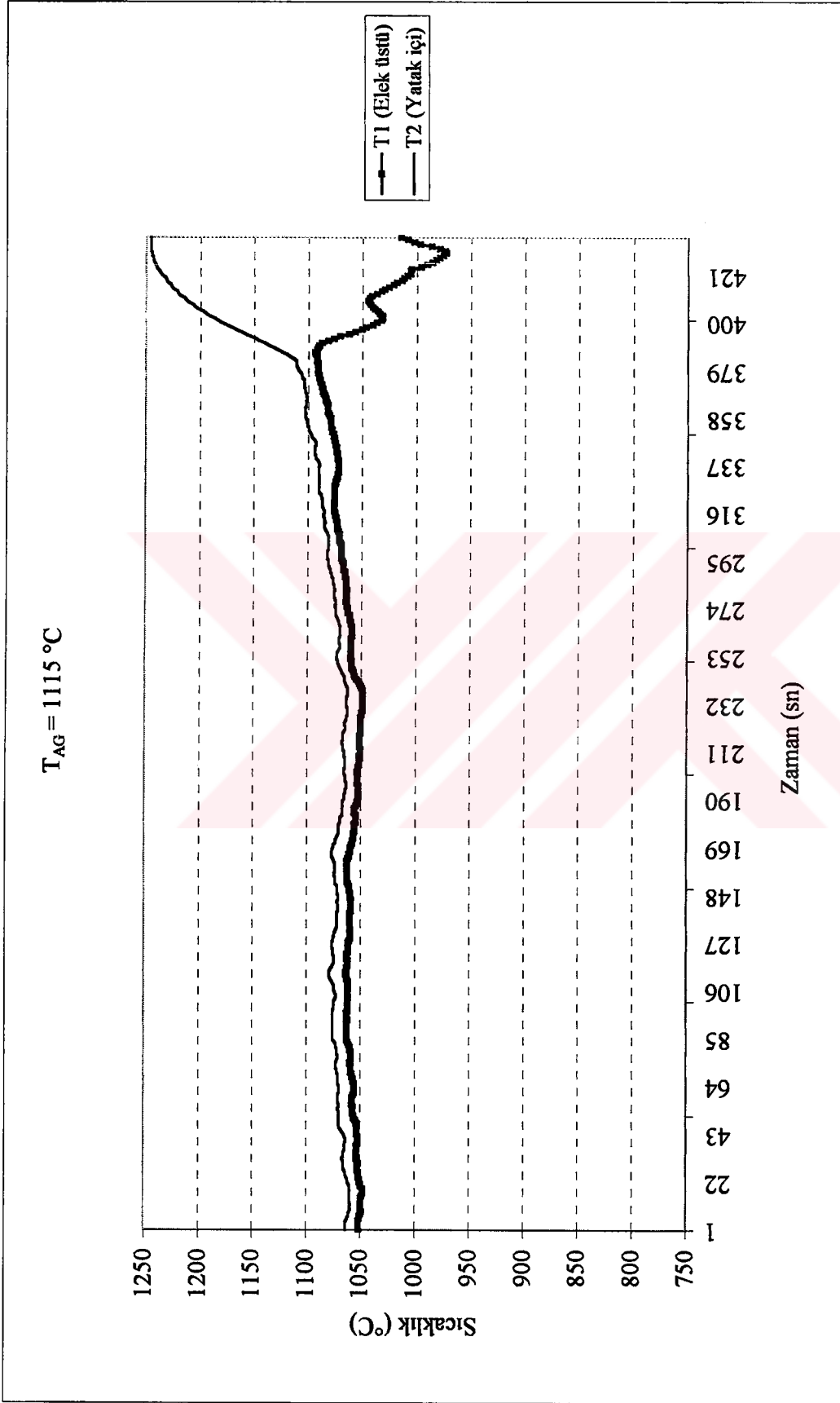
Söz konusu numuneler, akışkan yataklı yakma sistemimizde yakılmış ve aglomerasyon sıcaklıkları (T_{AG}), aktif yatak sıcaklığındaki değişimlerden yararlanılarak ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümlerinde, dağıtıcı elekten itibaren 25 mm. ve 65 mm. mesafedeki ısı çift yerlerinden, sırasıyla T_1 ve T_2 sıcaklıkları D101/42 Hilton Data Logger and Controller ile 3 sn. aralıklarla kaydedilmiştir. Bu sıcaklık değerleri Şekil 8.3.2.1 ,8.3.2.2 ve 8.3.2.3 ‘de görülmektedir. Ölçülen aglomerasyon sıcaklıkları Tablo 8.3.2.2 ’de verilmiştir. Kıyaslama



Şekil 8.3.2.1 0,50-1,00 mm. Orhaneli linyitinin aglomerasyon sıcaklık eğrisi



Şekil 8.3.2.2 1,00-2,00 mm. Orhaneli linyitinin aglomerasyon sıcaklık eğrisi



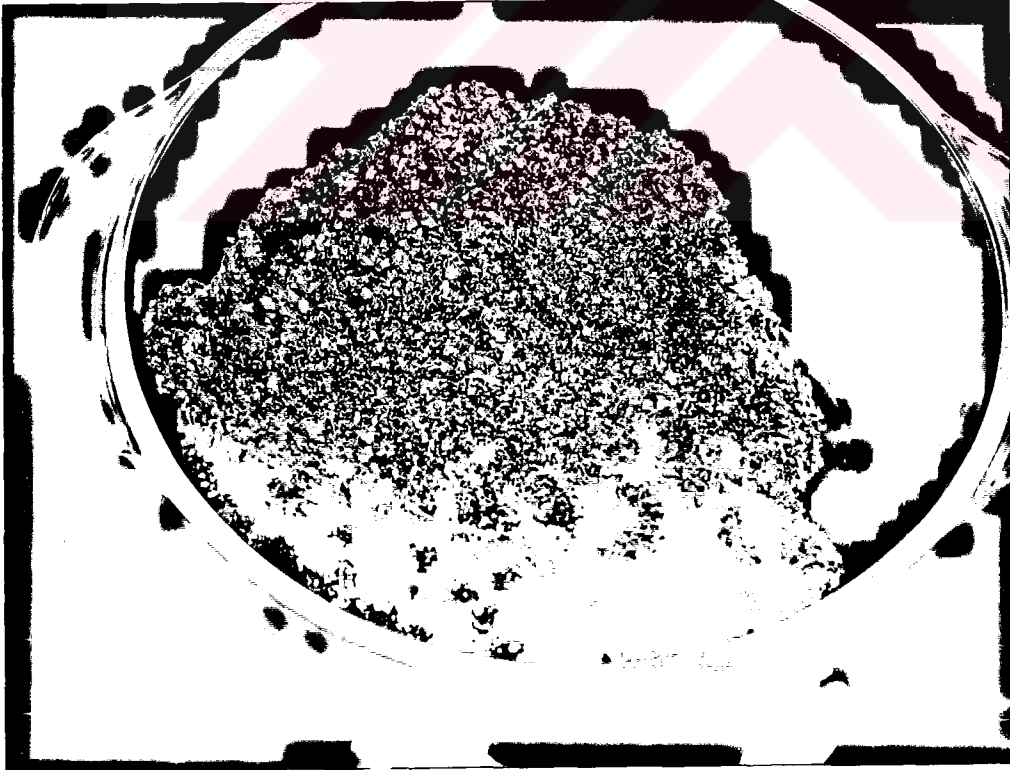
Şekil 8.3.2.3 2,00-2,34 mm. Orhaneli linyitinin aglomerasyon sıcaklık eğrisi

yapmak amacı ile, aglomerasyon sıcaklıklarının yanı sıra, söz konusu kömürlerin özgül kül sıcaklıkları ile aglomerasyon sıcaklıkları arasındaki farklar da tabloya dahil edilmiştir. Bu tabloda, $\Delta T_1 = T_D - T_{AG}$, $\Delta T_2 = T_S - T_{AG}$, $\Delta T_3 = T_H - T_{AG}$, $\Delta T_4 = T_F - T_{AG}$ dir.

Tablo 8.3.2.2 Orhaneli linyitinin aglomerasyon sıcaklıkları ve bunun özgül sıcaklıklarla farkı

Kömür boyutu (mm)	$T_{AG} (^{\circ}C)$	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4
0.50-1.00	1000	185	198	309	315
1.00-2.00	1006	191	199	310	312
2.00-2.34	1115	136	147	254	258

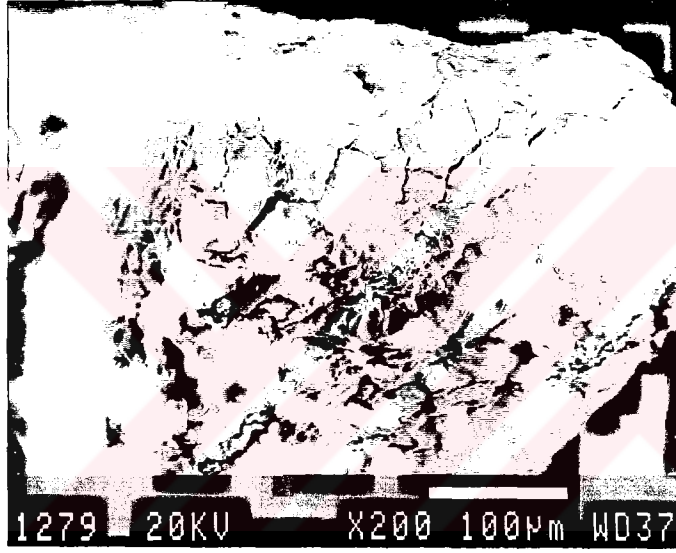
Tablo 8.3.2.2 'deki değerler gözden geçirildiğinde, aglomerasyon ve deformasyon sıcaklıklarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu fark, aglomerasyonun kül deformasyon sıcaklığına yakın bir seviyede başlayabildiğini göstermektedir. Aglomerasyona uğramış linyit külü örneği, Şekil 8.3.2.4'de görülmektedir.



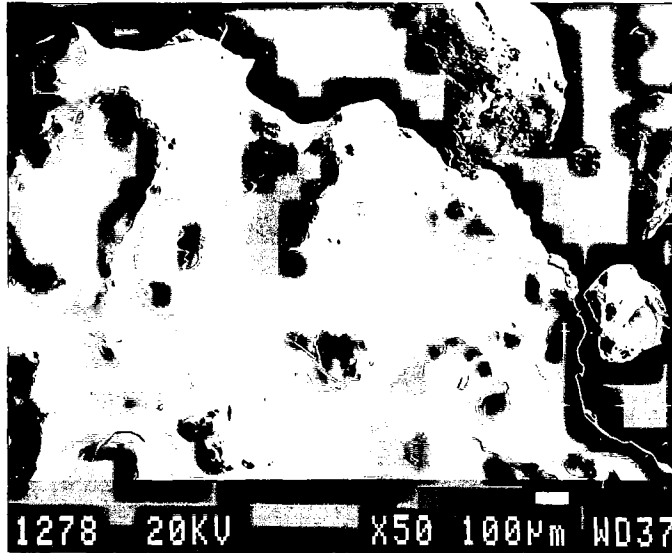
Şekil 8.3.2.4 Aglomerasyona uğramış linyit külü

Aglomere olan linyit külü, vakumlu kaplama cihazında ~ 200 Å karbonla kaplanarak, JEOL JxA 840 A Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ve buna bağlı Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektrometresi (EDX) ile incelenerek alınan fotoğraflar Şekil 8.3.2.5 ve 8.3.2.6'da görülmektedir.

Şekil 8.3.2.5'de aglomere olan linyit külünün SEM-EDX görüntüsü verilmiştir. Bu numunede SEM-EDX kalitatif analiz sonucunda; Si, Ca, Fe, Al, Mg ve K elementleri bulunduğu gözlemlenmiş, fakat bazı taneciklerin Si ve K elementlerince daha zengin olduğu belirtilmiştir. Şekil 8.3.2.6'da, numunenin genel yüzey görüntüsü verilmiştir.



Şekil 8.3.2.5 Aglomere olan linyit külü taneciği SEM-EDX görüntüsü



Şekil 8.3.2.6 Aglomere olan linyit külü genel yüzeyi

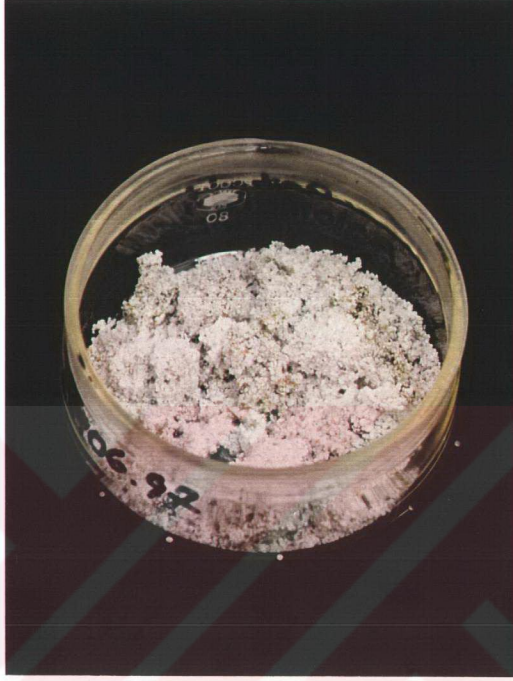
Deneysel çalışmalarımız sırasında Tatlı-Sorgumun yanmasını ve aglomerasyonunu inceleyebilmek için, elle besleyerek, bitki yakılmaya çalışılmıştır. Ancak, yatak malzemesi olarak kullanılan kuvarz kumu akışkanlaştırmak için gereken minimum hava, düşük yoğunluklu bir bitki olan Tatlı-Sorgumun taşınmasına neden olduğu için, yakılamamıştır. Bu yüzden, söz konusu bitkinin yoğunluğunu arttırabilmek için, briketler halinde yakılması planlanmıştır. Bu amaçla, TÜBİTAK-MAM ESÇAE grubu tarafından yürütülen “Biyokütleden Enerji Eldesi” konulu proje kapsamında hazırlanan Tatlı-Sorgum briketleri kullanılmıştır. Bu briketler, 0,5x0,5 cm. boyutlarında parçacıklara bölünerek, elle besleme yolu ile AYY sisteminde yakılmaya çalışılmıştır. Bu deneme sırasında, dengeli bir besleme sağlanamadığı için, yakılan Tatlı-Sorgum aglomere olmuştur. Tatlı-Sorgumun özgül sıcaklıkları Tablo 8.3.2.3’de verilmiştir. Özgül kül sıcaklıkları belirlenmeye çalışılırken, cihaz 1329°C’de analizi kestiği için, T_F değeri kaydedilememiştir.

Tablo 8.3.2.3 Tatlı-Sorgumun özgül kül sıcaklıkları (°C)

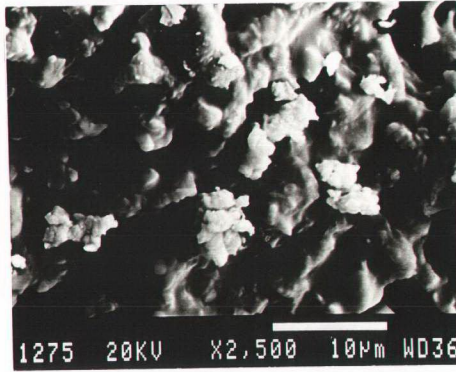
Özgül Kül Sıcaklıkları (°C)			
T_D	T_S	T_H	T_F
1032	1087	1134	>1300

Yukarıda verilen değerler, linyitin özgül kül sıcaklık değerleri ile karşılaştırıldığında, daha düşük oldukları görülmektedir. Bu da, karışımların yakılması sırasında dikkatli olunması gerektiğini göstermektedir. Zira, karışıma eklenen Tatlı-Sorgum oranı arttıkça, karışımın özgül kül sıcaklıkları da düşecek ve daha düşük sıcaklıklarda aglomerasyon olayına rastlanacaktır.

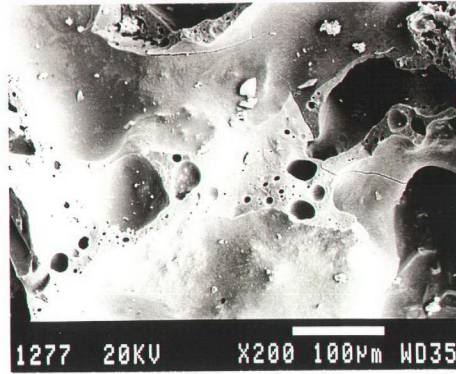
Yakma deneyi sonrasında, aglomere olan Tatlı-Sorgum külü, aşağıda Şekil 8.3.2.7’de görülmektedir. Bu numune, görünüm açısından, aglomere olmuş linyit külünden farklı bir yapı sergilemektedir. Numunenin SEM-EDX kalitatif analizi sonucunda; Si, Ca, Fe, Al, Mg ve K elementleri bulunduğu gözlemlenmiştir. Aynı elementlere, linyit numunesinde de rastlanmıştır. Şekil 8.3.2.8’de, numunenin SEM-ikincil elektron görüntüsü, Şekil 8.3.2.9a ve b’de ise, numuneye ait kırılma yüzeyi detayları verilmiştir.



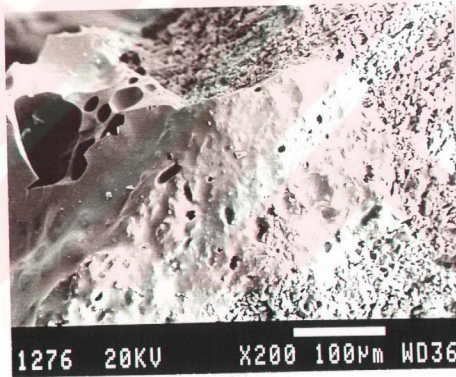
Şekil 8.3.2.7 Aglomere olan Tatlı-Sorgum küllü



Şekil 8.3.2.8 Aglomere olmuş Tatlı-Sorgum küllü SEM-EDX görüntüsü



Şekil 8.3.2.9a Aglomere olan Tatlı-Sorgum külü kırılma yüzeyi detayı



Şekil 8.3.2.9b Aglomere olan Tatlı-Sorgum külü kırılma yüzeyi detayı

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, linyit yanması sonucu oluşan ve atmosferik kirliliğin artmasında birinci derecede etken olan CO_2 , SO_2 , NO_x gibi olumsuz etkilerin, yakma sisteminden alınacak ısı gücü sabit olacak şekilde, linyit yerine belli oranlarda Tatlı-Sorgum eklenerek azaldığı görülmüştür. Çalışmalara linyit yakılarak başlanmış ve daha sonra %5, 10 ve 15 oranlarında Tatlı-Sorgum eklenmesi ile devam edilmiştir. Çalışma ile ilgili sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- Linyit ve linyit + Tatlı-Sorgum karışımları için hesaplanan teorik CO_2 konsantrasyonlarında küçük miktarda da olsa bir azalma kaydedilmiştir. Ancak, karışımı oluşturan linyitin ve Tatlı-Sorgumun yanmaları sonucu oluşan CO_2 konsantrasyonları ayrı ayrı incelendiğinde, sadece linyit yanması sonucu oluşan CO_2 konsantrasyonu azalırken, Tatlı-Sorgum yanması sonucu oluşan CO_2 konsantrasyonunda artış olduğu gözlemlenmektedir. Tatlı-Sorgumun, tüm biyokütle cinsi yakıtlar gibi, oluşumu sırasında havadaki CO_2 'yi tükettiği göz önüne alındığında ve CO_2 dengesi geniş anlamda düşünüldüğünde, bu bitkinin yakılması ile enerji üretimi sırasında, atmosfere CO_2 ilave edilmemekte, doğal denge bozulmamaktadır. Dolayısıyla, linyit + Tatlı-Sorgum yanması sonucunda oluşan CO_2 konsantrasyonlarında, linyit yanması sonucu oluşan CO_2 konsantrasyonlarına göre bir azalma olmaktadır. Öte yandan, deneyler sırasında oldukça az bir CO emisyonu ile karşılaşmıştır.
- Bilindiği gibi, kükürt içeriği diğer fosil yakıtlara oranla genelde daha yüksek olan kömürün yakılması sonucu önemli ölçüde kükürt oksit yayınımlı olmaktadır. Daha öncede birçok kez bahsettiğimiz gibi, Türk linyitleri düşük kaliteli kömürlerdir. Özellikle, linyitlerimizin kükürt oranları, oldukça yüksektir. Bu çalışmada, kükürt oranı linyite göre oldukça düşük olan Tatlı-Sorgumun linyit ile karıştırılması sonucunda oluşan SO_2 emisyonunun azaldığı görülmüştür.
- Linyit + Tatlı-Sorgum yakılması sırasında, yatak içindeki sıcaklıkların dalgalanması ve lokal olarak sıcaklığın ortalamanın üzerine çıkması nedeniyle, NO_x oluşum sınırı aşılmış; azotoksit emisyonlarında, linyit yakılması sonucu oluşan azotoksit miktarlarına göre bir miktar artış gözlemlenmiştir. Fakat bu, yine de ihmal edilebilecek kadar küçük bir artıştır.

- İdeal durumda yanma olayı, oksijen ve yakıt elemanlarının teoride istenen tam oranlarda (stokiometrik oran) karıştırılması ile meydana gelir. Ancak bir yakma sistemini fazladan oksijen göndermeksizin teorik seviyede oksijenle istenilen biçimde çalıştırmak mümkün değildir. Pratikte iyi yanma şartlarına, atmosferden alınan fazla hava şeklinde, sisteme fazladan oksijen beslenmesi ile ulaşılır. Bu fazla hava miktarı yakıtın ve yakma elemanlarının cinsine göre değişir.

İyi bir yanmanın amacı, yanmadaki verimsizlikler ve fazla hava sebebi ile olan kayıpları en aza indirerek yakıtta mevcut bütün ısı enerjisinin tamamının açığa çıkartılmasıdır. Yanabilen elemanlarla oksijenin birleşmesi, tutuşma için yeteri kadar yüksek sıcaklığa, çok iyi bir karışıma (türbülans) ve yanmanın tamamlanması için yeterli bir zamana gerek gösterir. Linyit + Tatlı-Sorgum karışımları incelendiğinde, Tatlı-Sorgumun bünyesindeki yüksek oksijen konsatrasyonu sonucu, yanma için gereken teorik hava ihtiyacı düşmektedir. Yakma sistemlerinde ocak boyutlarının hesaplanmasında, teorik hava ihtiyacı ve hava fazlalık katsayısı oldukça önemli bir parametredir. Sisteme beslenecek olan hava debisi, ocak boyutlarını doğrudan etkilemektedir.

- Deneyler sırasında gözlemlenen bir diğer önemli olay ise; linyit sırasında daha homojen ve kararlı bir sıcaklık eğrisi oluşurken, karışımların yanması sırasında kararsız bir sıcaklık dağılımının oluşmasıdır. Burada en büyük etken, linyit beslemesi sırasında homojen bir besleme sağlanabilirken, karışımların beslenmesi sırasında aynı homojenliğin sağlanamamasıdır. Burada, linyit + Tatlı-Sorgum karışımlarının yakılması için özel bir besleme sistemi dizaynının gerekliliği birkez daha vurgulanmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi, AYY sisteminde, linyit + Tatlı-Sorgum karışımları, en fazla %15 Tatlı-Sorgum + %85 linyit için gerçekleştirilmiştir. Daha yüksek oranlarda karışımlar denendiği zaman, helezon içinde sıkışmalar nedeniyle sürekli bir besleme ve kararlı yanma sağlanamamıştır. Diğer yandan, karışımların yanması sırasında, sorgum karışım oranı arttıkça, yatak üstü ve serbest bölge sıcaklıklarında artış kaydedilmiştir. Bunun başlıca sebebi, Tatlı-Sorgumun oldukça hafif (düşük yoğunluklu) bir yakıt olması, yanma esnasında, akışkanlaştırmaya havasının da etkisiyle taşınması ve serbest bölge içinde yanmayı sürdürmesidir.

Bu sürüklenmenin sonucunda oluşan sıcaklık artışı, akışkan yataklı yakma sistemlerinin dizaynında, ısı değiştirgeç yerlerini belirlemede kullanılabilecek bir parametredir.

- Öte yandan, kömürün içermiş olduğu kül, özellikle yakma sistemlerinde, önemli sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunlardan birisi olan, akışkan yataklı yakma sisteminde karşılaşılan aglomerasyon olayının, temel olarak külün yapısal özelliklerinden kaynaklandığı bilinmektedir. Bu sorunu azaltabilmek için küllerin davranımının bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, deneysel çalışmalarımız sırasında kullanılan Orhaneli linyitinin aglomerasyon sıcaklığı (T_{AG}), üç farklı boyutta numune için, aktif yatak sıcaklığındaki değişimlerden yararlanılarak ölçülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda 0.50-1.00 mm linyit için $T_{AG}=1000^{\circ}\text{C}$, 1.00-2.00 mm linyit için $T_{AG}=1006^{\circ}\text{C}$ ve 2.00-2.34 mm linyit için $T_{AG}=1115^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir.
- Son olarak, birçok olumlu etkileri olan biyokütlenin, daha verimli bir şekilde yakılabillmesi için, özel bir yakıt besleme düzeneği dizaynı üzerinde daha detaylı olarak yapılacak çalışmaların yararlı olacağı görüşüne varılmıştır.

KAYNAKLAR:

- Ağabay, M., (1987), "Tipik Türk Linyitlerinin Akışkan Yataklı Yakıcıda Yakılmasıyla Oluşan SO₂'nin Tutulması", TÜBİTAK-MAM Proje raporu, Kasım 1997
- Akçura, F., Gerger, M., (1982), "Başlıca Türk Linyitlerinin Özellikleri", MTA yayını, Ankara
- Altaş, M., Fikret, H., Çelebi, E., (1994), Enerji İstatistikleri, Türkiye 6. Enerji Kongresi, İzmir.
- Andersonn, B.A., Leckner, B., Amand, L.E., (1985), Proc.Int.Conf.on Fluidized Bed Combustion, DOE/METC-85/6021, Vol.2, pp:1019-1029
- Arıkol, M., Kınayyigit, G., Özdoğan, S., Uyar, T.S., Vural, H., (1984), "Coal Transportation and Utilization Technologies", Tübitak-MAE yayını, Gebze-Kocaeli.
- Atakan, M.S., (1989), "Odun Talaşı ve Zirai Atıkların Siklon Yakıcıda Yakılması", II.Yanma Sempozyumu, İstanbul
- Atakan, Y., (1992), "World Population Growth, Energy Demand and Increasing Carbon Dioxide Emissions Towards Global Warming-Estimation of CO₂ Contribution of Turkey", NATO ASI Series, Ed. by A. Müezzinoğlu and M.L. Williams, pp:219-232
- Atakül, H., Ekinci, E., Agglomeration in Lignite ash Flotsam - and Jetsam - Rich Systems
- Atakül, H., Bulutçu, N., Tolay, M., Ekinci, E., (1987), "The Effect of Inorganic Constituents of Some Turkish Lignites on Agglomeration in a Fluidized Bed", First European Conference on the Influence of Inorganic Constituents on Coal Combustion
- Atakül, H., Ekinci, E., (1989), "Agglomeration of Turkish Lignites in Fluidized Bed Combustion", Journal of the Institute of Energy, 56-61
- Atakül, H., Öner, G., Yardım, M.F., (1993), "Fluidized Bed Combustion Research in Turkey", Energy Sources, pp:1-15
- Aybar, A.N., (1990), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Genel Enerji Planlaması Çalışmalarının İlk Sonuçları", Türkiye 5.Enerji Kongresi, Ankara, 30-31 s.
- Barbir, F., Veziroğlu, T.N., (1992), "Clean Utilization of Coal", NATO Advanced Study Series, Ed. by Yuda Yürüm, pp:131-152
- Basu, P.A., (1982), "Study of Agglomeration of Coal Ash in Fluidized Beds", The Canadian Journal of Chemical Engineering, 60, 791 - 795
- Bockris, J.O'M., Veziroğlu, N., Smith, D., (1991), "Solar Hydrogen Energy", Macdonald & Co. (publishers) Ltd.
- Candan, N., Doğu, G., Doğu, T., (1980), "Sabit Yataklı Bir Reaktörde SO₂'nin CaO ile Tutulması", VII. Tübitak Bilim Kongresi Kimya Seksiyonu.

Cohen, L.S., Johnson, W.B., (1984), "The Advantage of The Solids Circulation Fluid-Bed Boiler", Chemical Eng.Progress, pp:55-60

Dalianis C., Christou M., Sooter S. Kyritsis S., Zafiris and Samiotakis G, (1992), Seventh European Conference on Biomass for Energy and Environment, Agriculture and Industry, P.09.09, 5-9 October 1992, Florence-Italy.

Davidson, J.F., Clift, R., Harrison, D., (1985), "Fluidization", (Second edition), Academic Press, London,UK.

Dry, R.J., La Nauze, R.D.,(1990), "Combustion in Fluidized Bed" , Chemical Eng. Progress, pp:31-47

Ekinci, E., Eskikaya, T., Atakül, H., (1991), "Kömürün Akışkan Yatakta Yakılması", Kömür, editör Kural, O., İstanbul.

Ekinci, E., Atakül, H., (1994), "Kömür Yakma Sistemleri", 2000'li Yıllara Doğru Linyit Sektörümüz Sempozyumu, Ankara:119-136

Enerji raporu (1993), Dünya Enerji Kongresi Türk Milli Komitesi, Ankara.

Enerji İstatistikleri (1997), Türkiye 7.Enerji Kongresi, Ankara, 1997

Ersoy, A. , Küçükbayrak, S., (1994), "Enerji-Çevre İlişkisi", 21. Yüzyılda Bütün Yönleriyle Enerji Sempozyumu Bildiriler kitabı, s:905-913, 28-30 Nisan 1994, İstanbul

Goblirsch, G.M., Talty, R.D., (1980), "Recent Developments in Fluidized Bed Combustion Technology for Lignites and Subbittuminous Coals in the USA", Fluidized Bed Combustion: Systems and Applications, p.IV-7, London

Goldberger, W.N., (1962), "Collection of Fly Ash in a Self Agglomerating Fluidized Bed Coal Burner", ASME, Paper 67-WA/FU-3

Grassi G., Moncado P.C., Zibetta, H. (1992), "Sweet-Sorghum", Commission of the European Communities publication, September 1992.

Hamdullahpur, F., Uğursal, V.İ., Guangxi, Y., (1994), "Fluidized Bed Combustion Coal", edited by O.Kural, Türkiye, p.p: 279-290

Hampartsoomian, E., Gibbs, B.M., (1980), "Combustion of peat in Fluidised Bed", Proc.Inst.Energy Symp.Ser.4., Fluidised Bed Combustion and Applications, ed. J.R.Howard, Applied Science Publ., London, pp:77-169

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, 1986. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü, 2 Kasım 1986 tarih ve 19266 sayılı Resmi Gazete, Ankara

Holdren J.P vd., (1980), Annual Review of Energy, Vol 5, pp:241-291.

Jones, M.R. (1989), "In Biomass Handbook", (Eds. Kinati, O., Hall, C.W.), Gordon and Breach Science Publishers, N.Y., pp:97

Jung, B., Schobert, H., (1992), "Viscous Sinterin of Coal Ashes, 2. Sintering Behavior at Short Residence Times in a Drop Tube Furnace", Energy and Fuels, 6, 59- 68

Kadioğlu, S., Telliöğlu Z., (1996), "Enerji kaynaklarının kullanımı ve çevreye etkileri", TMMOB Türkiye Enerji Sempozyumu, 12-14 Kasım 1996, Ankara

Keskin, T. (1994), "Enerji Verimliliğinin Genel Enerji İhtiyacımız ve Çevre Kirliliği Üzerine Etkileri", 21. Yüzyılda Bütün Yönleriyle Enerji Sempozyumu Bildiriler kitabı, s:914-920, 28-30 Nisan 1994, İstanbul

Kunii, D., Levenspiel, O., (1977), "Fluidization Engineering", Huntington, NY.

Kullendorf, A., Herstad, S., Oloesson, J., (1985), "Control of NO_x and SO_x emissions in Circulating Fluidized Bed Methods and operating experiences", Conf. on Power Station and Environment, Essen

La Nauze, R.D, (1987), "A Rewiew of the Fluidised Bed Combustion of Biomass", Journal Of The Institute Of Energy, pp 66-76, June 1987.

Leben News, (1992), Commission of the European Communities, Number 2, April, pp 7-18.

Leckner, B., Andersonn, B.A., (1984), "Fluidised Bed Combustion of Coal and Biomass In Combustion og Tomorrow's", Fuel-II, Eng.Foundation Conf., Davos

Leckner, B., (1985), "Fluidised Bed Research in Sweden", Seminar of Environmental effects on Forest and Air Pollution, Stockholm, June, 1985

Masson, H.A., (1984), "Fluidised Bed Combustion of Biomass Pellets", EEC Congress on Biomass, Gothenburg

Manzoori, a.R., Agarwal, P.K., (1994), "Agglomeration and Defluidization Under Simulated Circulating Fluidized Bed Combustion Conditions", Fuel, 73, 563-567

MTA, (1993) "Dünya'da ve Türkiye'de Linyit, Asfaltit, Taşkömürü, Bitümlü Şist, Uranyum Rezervleri ve Üretimleri", Haziran, 1993

Nelkin, G.A., Dellefield, R.S., (1990), "Fluidized Bed Combustion", Mechanical Engineering: 58-62

Onat, K., Genceli O., Arısoy A., (1988), "Buhar Kazanlarının Isıl Hesaplamaları", Denklem Matbaası : 28-32

Özil, E., Arıkol, M., Özdoğan, S., (1993), "Enerji Kaynaklarının Mukayeseli değerlendirilmesi Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye", Tesisat Müh.Dergisi:24-28

Plinke, E., Atak, N., Haasis, H.D., Rentz, O., (1992), "Emission Control Strategies For Turkey in View of an Integration Into the European Community", *Int. Journal of Energy Research*, 16, pp:223-239.

Saxena, S.C., Rahmet A., (1978), "A Mechanistic Model to Explain Ash Agglomeration in Fluidized Bed", 5 th Int.Conf. on Fluidized Bed Combustion V3

Sayigh A.A.M., (1993), *Renewable Energy*, Vol.3 (4-5), 297-304.

Science and Technology, November 8 (1993) 53-54.

Siegel, J.H., (1976), "Defluidization Phenomena in Fluidized Bed of Sticky Particles at High Temperatures", Ph.D. Thesis, City University of New York

Snayd R.J. (1984), "Energy Recovery from Fluidized-Bed Combustion", *Chemical Eng. Progress*:48-54

Stout, B.A., (1983), "In Biomass Energy Profiles", F.A.O. Agricultural Services, Bulletin, p.54

Tolbert, N.E., (1992), "Photosynthetic Carbon Metabolism and Atmospheric CO₂", *Encyclopedia of Earth System Science*, Volume 3, pp:601-607

Türe, S., Saygın, Ö., (1994a), "Growth and Productivity of Sweet Sorghum in Turkey", 8th Conference on Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry. Vienna, Austria.

Türe, S., Özdoğan, S., Saygın, Ö., (1994b), "Biyokütleden Enerji Üretimi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, İzmir, 486-493.

Türe, S., Uzun, D., Türe, E., (1995), "Hava Kirliliğini Önlemede Biyokütlenin Rolü", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü, III. Ulusal Sempozyum Bildiriler Kitabı, Ankara.

Twidell, J., Weir, T., (1986), "Renewable Energy Resources", pp 257-258.

Unanimous- 1, (1993), "Combined Combustion of Biomass/Sewage Sludge and Coals of High and Low Rank in Different Systems of Semi-Industrial and Industrial Scale", APAS Clean Coal Technology, Progress Report, COAL CT92-0002, Netherlands

Unanimous- 2, (1993), "Investigation of Fuel Granulates Based on Coal/Biomass Mixtures", APAS Clean Coal Technology, Progress Report, DMT/D, Netherlands

Unanimous- 3, (1993), "Co-Combustion of Sewage Sludge Coal Pellets in Fluidized Bed", APAS Clean Coal Technology, Progress Report, Fechner/D, Netherlands

Unanimous-4 , (1993), "Coal/Biomass Fired Multi-Circulating Fluidized Bed Plant with Advanced Steam Data", APAS Clean Coal Technology, Progress Report, Aalborg Ciser International A/S, Netherlands

Unanimous- 5, (1993), “Contribution to Tests on Co-Firing of Coal and Biomass (Straw and Wood Chips) in a Full-Scale Circulating Fluidized Bed and a PF Boiler”, APAS Clean Coal Technology, Progress Report, ENEL/I, Netherlands

Unanimous-6 , (1993), “Co-Combustion of Densified Biomass with Coal in the ECN Bubbling Fluidized Bed”, APAS Clean Coal Technology, Progress Report, ECN/NL, Netherlands

Unanimous- 7, (1993), “Co-Combustion of Coals with Various Types of Biomass in Fluidized Bed Systems”, APAS Clean Coal Technology, Progress Report, INETI/P, Netherlands

Vural, H., (1989), “Akışkan Yatakta Yakma Teknolojisindeki Gelişmeler” , II.Yanma Sempozyumu, İTÜ, İstanbul:33-42



EK 1

HAVA KALİTESİNİN KORUNMASI YÖNETMELİĞİ

Resmi Gazete 2 Kasım 1986, Sayı:19266

HAVA KALİTESİNİN KORUNMASI YÖNETMELİĞİ

BİRİNCİ BÖLÜM

KANUNİ DAYANAK, AMAÇ, KAPSAM, İSTİSNALAR, TANIMLAR

Kanuni dayanak:

Madde 1.

2872 Sayılı, 9 Ağustos 1983 kabul tarihli Çevre Kanunu'nun 1 ve 3'üncü maddelerinde öngörülen amaç ve ilkeler doğrultusunda, 8,9,10,11,12 ve 13'üncü maddelerine dayanılarak hazırlanmıştır.

Amaç

Madde 2.

Bu yönetmeliğin amacı, her türlü faaliyet sonucu atmosfere yayılan is, duman, toz, 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 önemli zararlar veren olumsuz etkileri gidermek ve bu etkilerin ortaya çıkmasını sağlamaktır.

Tanımlar

Madde 5.

- a. Hava kirleticiler: Havanın tabii bileşimini değiştiren, is, duman, toz, buhar ve aerosol halindeki kimyasal maddelerdir.
- b. Hava kalitesi: İnsan ve çevresi üzerine etki eden hava kirliliğinin göstergesi olan, çevre havasında mevcut hava kirleticilerin artan miktarıyla azalan kaliteleridir.
- c. Emisyonlar : Yakıt ve benzerlerinin yanmasıyla; sentez, ayrışma, buharlaşma ve benzeri işlemlerle; maddelerin yığılması, ayrılması, taşınması ve bu gibi diğer mekanik işlemler sonucu bir tesisten atmosfere yayılan hava kirleticilerdir.
- d. Tesis: Bu yönetmelikte tesisin anlamı:
 - Kurum, kuruluş, işletmeler ve diğer sabit düzenekler;
 - Makinalar, aletler ve diğer yer değiştirebilen teknik düzenekler ile motorlu vasıtalar;
 - Üzerinde madde depolanan, boşaltılan ve iş yapılan mülklerdir.
- e. Yetkili makam: Bu yönetmelikte adı geçen yetkili makam, resmi izinlerin verilmesinde ve denetim görevinin ifasında, 1593 sayılı Umumi Hıfzıssıhha Kanununun 268-275 inci maddelerine göre Sağlık ve Sosyal Yardım Bakanlığı ile bu kanunun yetkili kıldığı kurum ve kuruluşlardır. Kirletme yasağı, çevre korunması, çevresel etki değerlendirmesi, işletme izni, haber verme yükümlülüğü ve denetleme esasları hakkında yönetmelikleri ve standartları hazırlama yetkisi 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 8-13'üncü maddeleri uyarınca Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü'ndedir. Verilecek cezalar 2872 sayılı Çevre Kanunu ve 2872 sayılı Çevre Kanununun bazı maddelerinin değiştirilmesi hakkında 3301 Sayılı Kanun doğrultusunda uygulanır. Faaliyetlerin durdurulmasında yetki, 2872 sayılı Kanunun 15-16 ncı maddelerinde belirtilen şekilde Sağlık ve Sosyal Yardım Bakanlığı, Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü ve mahallin en büyük mülki amirindedir. Ayrıca 222 sayılı Çevre Genel Müdürlüğünün Kuruluş ve Görevleri Hakkında 18.06.1984 tarihinde yürürlüğe konan Kanun Hükmünde Kararname ile verilen yetkiler doğrultusunda, Çevre Genel Müdürlüğü ve Mahalli Çevre Kurulları çevre kirliliğinin önlenmesi için çalışmalar yapar ve kararlar alırlar.
- f. İzin : Bu yönetmelikte izin, "Emisyon İzni" anlamında kullanılmıştır.
- g. Ön izin : Bu yönetmelikte ön izin, "Emisyon Ön İzni" anlamında kullanılmıştır.
- h. Tip ve Emisyon Belgesi : İzne tabi olmayan, emisyon yayan değişik modeldeki tesislerin ve bunların parçalarının tasarım özellikleri, verim, kapasite ve emisyon değerlerinin bu yönetmelik hükümlerine uygunluğunu tevsik eden belgedir.
- i. Teknolojik seviye : Sürekli işletilmesinde başarısı tecrübeyle sabit, mukayese edilebilir metodlar, düzenekler ve işletme şekilleriyle kontrolleri yapılabilen; emisyon sınırlama tedbirlerini pratikleştiren ve kullanılabilir hale getiren, ileri ve ülke şartlarında uygulanabilir teknolojik metodlar, düzenekler, işletme biçimleri ve temizleme metodlarının geldiği seviyedir.
- j. Üretmek : Bu yönetmelik kapsamında "üretmek" terimi; üretmek, işlemek, üretim amacıyla tüketmek ve diğer kullanımları içine alır. Bu yönetmelikte ithalat ve diğer nakliyatlar aynı anlamda mütalaa edilirler.

İKİNCİ BÖLÜM

HAVA KALİTESİ SINIR DEĞERLERİ, İZNE TABİ TESİSLER İÇİN EMİSYON SINIR DEĞERLERİ

Hava Kalitesi Sınır Değerleri

Madde 6.

1. Hava Kalitesi Sınır Değerleri : İnsan sağlığının korunması, çevrede, kısa ve uzun vadeli olumsuz etkilerin ortaya çıkmaması için atmosferdeki hava kirleticilerin, bir arada bulunduklarında, değişen zararlı etkileri de gözönüne alınarak tesbit edilmiş konsantrasyon birimleriyle ifade edilen seviyelerdir.

A- Uzun Vadeli Sınır Değerleri (UVS)

Aşılmaması gereken, bütün ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması olan değerlerdir.

B- Kısa Vadeli Sınır Değerleri (KVS)

Maksimum günlük ortalama değerler veya istatistik olarak bütün ölçüm sonuçları sayısal değerlerinin büyüklüğüne göre dizildiğinde, ölçüm sonuçlarının %95'ini aşmaması gereken değerlerdir. Çöken tozlar için farklı olarak aşılmaması gereken maksimum aylık ortalama değerdir.

UVS ve KVS değerler için öngörülen süreler genellikle 1 yıllık periyotları kapsar.

Çeşitli hava kirleticileri için, uyulması gereken uzun ve kısa vadeli değerler Tablo Ek-1'de verilmiştir.

C- Kış Sezonu Ortalaması Sınır Değerleri

1. Kış aylarında, binaların ısıtılmasıyla ortaya çıkabilen hava kirlenmelerine yol açan hava kirleticiler için Ekim-Mart ayları arasında yerleşim bölgelerinde yapılan ölçümlerin ortalamaları, aşılmaması gereken kış sezonu ortalama UVS sınır değerleri ile mukayese edilirler.

Kış Sezonu Ortalaması Sınır Değerleri

Kükürt Dioksit
Havada Asılı Partikül Madde

250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

2. 1. Fıkra ile belirlenen sınırlara ulaşılmadığı halde, mahalli çevre birimleri hava kalitelerini iyileştirme programları geliştirirler, Hava Kalitesi Sınır Değerlerini, zaman içerisinde daha sıkı sınır değerlerine düşürerek, daha temiz hava kalitelerine ulaşmak için, yaygın olarak ortaya çıkan hava kirleticilere ait, hedeflenmiş sınır değerler belirlenir. Kükürt dioksit ve havada asılı partikül maddeler için aşağıdaki hedef sınır değerler tesbit edilmiştir. Bu hedeflere mümkün olan en yakın zamanda ulaşmak için

programlar geliştirilir.. Tesisler kurulurken hava kalitesini koruma önlemleri kuruluş tarihinde yürürlükte olan UVS ve KVS değerlerine göre alınır.

<u>Hedef Sınır Değerler</u>	<u>SO₂ (µg/m³)</u>	<u>PM (µg/m³)</u>
Yıllık Aritmetik Ortalama	60	60
Kış Sezonu (Ekim-Mart)		
Ortalaması	120	120
Maksimum 24 Saatlik Değer	150	150
1 saatlik değer	450	--

Tablo Ek-1 Çeşitli hava kirleticileri için, uyulması gereken uzun ve kısa vadeli değerler

	<u>HAVA KIRLETİCİ</u>	<u>Birim</u>	<u>UVS</u>	<u>KVS</u>
1.	Kükürt Dioksit (SO ₂)			
	Kükürt Trioksit (SO ₃) dahil			
	a) Genel	(µg/m ³)	150	400 (900)
	b) Endüstri bölgeleri	(µg/m ³)	250	400 (900)
2.	Karbon monoksit (CO)	(µg/m ³)	10.000	30.000
3.	Azot Dioksit (NO ₂)	(µg/m ³)	100	300
4.	Azot Monoksit (NO)	(µg/m ³)	200	600
5.	Klor (Cl ₂)	(µg/m ³)	100	300
6.	Klorlu Hidrojen (HCl) ve Gaz halde Anorganik Klorürler (Cl ⁻)	(µg/m ³)	100	300
7.	Florlu Hidrojen (HF) ve Gaz halde Anorganik Florürler (F ⁻)	(µg/m ³)	--	10 (30)
8.	Ozon (O ₃) Fotokimyasal Oksitleyiciler	(µg/m ³)	--	(240)
9.	Hidrokarbonlar (HC),	(µg/m ³)	--	140 (280)
10.	Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	(µg/m ³)	--	40 (100)
11.	Havada Asılı Partikül Maddeler (PM) (10 mikron ve daha küçük partiküller)			
	a) Genel	(µg/m ³)	150	300
	b) Endüstri bölgeleri	(µg/m ³)	200	400
12.	PM içinde kurşun (Pb) ve bileşikleri	(µg/m ³)	2	--
13.	PM içinde Kadmiyum (Cd) ve bileşikleri	(µg/m ³)	0.04	--
14.	Çöken tozlar (10 mikrondan büyük partiküller dahil)			
	a) Genel	(µg/m ² gün)	350	650
	b) Endüstri bölgeleri	(µg/m ² gün)	450	800
15.	Çöken tozlarda kurşun ve bileşikleri	(µg/m ² gün)	500	--
16.	Çöken tozlarda Kadmiyum ve Bileşikleri	(µg/m ² gün)	7.5	--
17.	Çöken tozlarda Talyum (Tl) ve Bileşikleri	(µg/m ² gün)	10	--

3. Bilhassa hassas hayvan, bitki ve eşyayı hava kirliliğinin zararlı etkilerinden korumak için özel koruma alanlarında kükürt dioksit, gaz halinde anorganik klor ve flor bileşikleri, çöken tozlarda kurşun ve kadmiyum miktarları için aşağıdaki özel sınır değerler tatbik edilir.

	<u>Birim</u>	<u>UVS</u>
Kükürt Dioksit	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	60
Gaz Halinde Anorganik	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	60
Klor Bileşikleri		
Gaz Halinde Anorganik	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,3
Flor Bileşikleri		
Kurşun	($\mu\text{g}/\text{m}^2$ gün)	250
Kadmiyum	($\mu\text{g}/\text{m}^2$ gün)	2,5

4. Petro Kimya Tesisleri ve petrol rafinerilerinde uyulması istenilen hava kalitesi sınır değerleri aşağıdaki gibidir.

	<u>Birim</u>	<u>Birinci Sınır Değer</u>	<u>İkinci Sınır Değer</u>
Benzen	mg/m^3	5,0	10,0
Toluen	mg/m^3	2,0	6,0
Ksilen	mg/m^3	1,5	6,0
Olefinler	mg/m^3	1,5	3,0
Toplam Organik Buharlar (Karbon cinsinden)	mg/m^3	2,0	10,0
Etil Benzen	mg/m^3	0,02	3,0
Kumol			
(İzopropil Benzen)	mg/m^3	0,02	2,0
Trimetil Benzen	mg/m^3	0,02	1,0
Merkaptan	mg/m^3	0,005	0,06
Tetra etil-tetra metil			
Kurşun	mg/m^3	--	0,001

İZNE TABİ TESİSLER İÇİN EMİSYON SINIRLARI

Madde 7.

Madde 10 ile 28 arasında ele alınan izne tabi bir tesis için Madde 9'da herhangi bir sınırlama getirilmemişse Madde 7 ve Madde 8'de verilen emisyon sınırlarına uyulması mecburidir.

1. İs

- A- Atık gazlardaki ısıliliğin derecesi, katı yakıtlı tesislerde Ringelman skalasında 2 veya daha küçük tutulur.
- B- Sıvı yakıt yakan yeni kurulacak tesislerin atık gazlarındaki ısılilik derecesi Bacharach skalasına göre motorin yakanlarda en fazla iki, 4 ve 5 No'lu fuel-oil yakanlarda en fazla 3, 6 No'lu fuel-oil yakanlarda en fazla 4 olması gerekir.

Bu yönetmeliğin yayımı tarihinden önce kurularak işletmeye alınmış tesisler için ısılilik sınırları bu bendin birinci cümlesindeki değerlere 1 ilave edilerek bulunur.

2. Toz Şeklinde Emisyon

- A- Atık gazlarda bulunan toz şeklindeki emisyon aşağıda B bendinde sınırlandırılmamışsa, bent 3'deki sınırları aşamaz.
- B- Doldurma, ayırma, eleme, taşıma, kırma ve öğütme tesislerinden çıkan gazlarla atılan toz emisyonu 3 kg/h'e kadar ise atık gazlardaki toz konsantrasyonu 300 mg/m³, atılan emisyon 3 kg/h'den fazla ise atık gazlardaki toz konsantrasyonu 150 mg/m³'ün altında tutulur.

3. Atık Gazlardaki Özel Tozların Emisyonları İçin Sınırlar

Özel toz emisyonları aşağıdaki sınırlar içinde tutulur:

I'inci sınıfa giren toz emisyonları (0,1 kg/h veya üzerindeki emisyon debileri için)	20 mg/m ³
II'inci sınıfa giren toz emisyonları (1 kg/h veya üzerindeki emisyon debileri için)	50 mg/m ³
III'üncü sınıfa giren toz emisyonları (3 kg/h veya üzerindeki emisyon debileri için)	75 mg/m ³

I ve II'inci sınıflara giren özel toz emisyonlarının bir arada bulunması durumunda toplam emisyon konsantrasyonu 50 mg/m³, I ve III veya II ve III'üncü sınıflara giren toz emisyonlarının bir arada bulunması durumunda emisyon konsantrasyonu 75 mg/m³ sınırlarını aşamaz.

4. Tozlu Maddelerin Üretilmesi, İşlenmesi, Depolanması, Taşınması, Doldurulması, Boşaltılması, Tasnifi

Tozlu maddelerin üretimi, parçalanması, tasnifi, doldurulması ve diğer işlemleri sırasında ortaya çıkan tozlu gazlar toplanır ve toz ayırma sisteminden geçirilir.

Çapı 5 mm'den küçük ürünleri üreten makinalardan toz sızırdırmaları önlenemiyorsa, bu makinalardan üretim kapalı alanlarda yapılır.

Şayet üst yüzeydeki nem oranı en az %10 değilse, çapı 2 mm'den küçük öğütülmüş tozlu maddelerin taşınması, kapalı sistemlerle yapılır ve kapalı alanlarda depolanır.

Bu maddelerin boşaltma ve paketleme tesisleri toz emisyonlarına karşı korunur.

5. Açıkta depolanan yığma malzeme

Açıkta depolanan tozlu yığma malzeme, hava kalitesi standartlarını karşılamak şartıyla açıkta depolanabilir. Bu amaçla aşağıda bazı örnekleri verilen tedbirler alınır:

- Arazide rüzgarı kesici toprak yığınları yapılır., rüzgarı kesici bitkiler dikilir, rüzgar koruyucuları yapılır,
- Konveyörler ve diğer taşıyıcıların üzerleri kapatılır,
- Savurma yapılmadan boşaltma ve doldurma yapılır,
- Malzeme üstü naylon branda veya tane büyüklüğü 10 mm'den fazla olan maddelerle kapatılır,
- Bağlayıcı maddelerle sıkıştırılması yapılır,
- Üst tabakalar %10 nemde muhafaza edilir..

6. Toz Yapıcı Yanma ve Üretim Artıklarının Taşınması ve Depolanması

Toz yapan yanma ve üretim artıklarının taşınmasında taşınan malzemenin tozumayı önleyecek derecede nemli olmaması halinde kapalı taşıma sistemleri kullanılır. Bunların açıkta depolanmasında 5'inci bentteki tedbirler alınır. Depolama işlemi tamamlanan sahalar toprakla örtülüp üstü yeşillendirilmeye çalışılır.

7. Tesisteki Yolların Durumu

Tesislerdeki yollar hava kalitesini bozucu etki yaratıyorsa yolların bitümlü kaplama malzemeleri, beton veya benzeri malzemelerle kaplanması, düzenli olarak temizlenmesi veya toz bağlayan maddelerle muameleye tabi tutulması gereklidir.

8. Filtrelerin Boşaltılması

Toz biçimindeki emisyonu tutan filtrelerin boşaltılmasında toz emisyonunu önlemek için toz, kapalı sistemle boşaltılır veya boşaltma sırasında nemlendirilir.

9. Gaz ve Buhar Emisyonları

A- Anorganik Klor Emisyonu

Gaz biçimindeki anorganik klor emisyonları, 3 kg/h veya üzerinde ise; bu bileşiklerin atık gaz içerisindeki konsantrasyonu (Cl) 30 mg/m³'ü aşamaz.

B- Anorganik Flor Emisyonu

Gaz biçimindeki anorganik flor emisyonları, 150 g/h veya üzerinde ise; bu bileşiklerin atık gaz içerisindeki konsantrasyonu (Cl) 5 mg/m³'ü aşamaz.

C- Organik Buhar ve Gaz Emisyonları

I, II ve III olarak sınıflandırılan, atık gazlarda bulunan organik bileşiklerin buhar ve gaz biçimindeki emisyonları, aynı sınıftan birden fazla bileşik bulunsu dahi bunların toplam emisyonları, aşağıdaki değerleri aşamaz:

I'inci sınıfa giren organik bileşiklerin emisyonu (0,1 kg/h veya üzerindeki emisyon debileri için)	20 mg/m ³
II'inci sınıfa giren organik bileşiklerin emisyonu (3 kg/h veya üzerindeki emisyon debileri için)	150 mg/m ³
III'üncü sınıfa giren organik bileşiklerin emisyonu (6 kg/h veya üzerindeki emisyon debileri için)	300 mg/m ³

Birden fazla sınıfa ait organik bileşiklerin birlikte atılması durumunda, bu maddede yukarıda verilen değerlerin aşılmaması kaydıyla, toplam emisyon konsantrasyonu 300 mg/m³'ü geçemez.

10. Kanserojen Maddelerin Emisyon Sınırları

Atık gazlarda bulunan kanserojen maddeler prensip olarak en düşük düzeyde tutulur.

Bu konuda iş güvenliği mevzuatı da dikkate alınır.

I'den III'e kadar sınıflandırılmış olan maddelerin, uygun gruptan birden fazla madde bulunması durumunda dahi toplam konsantrasyonları aşağıdaki değerleri aşamaz:

I'inci sınıfa giren maddeler (0,5 g/h ve üzerindeki emisyon debileri için)	0,1 mg/m ³
II'inci sınıfa giren maddeler (5 g/h ve üzerindeki emisyon debileri için)	1 mg/m ³
III'üncü sınıfa giren maddeler (25 g/h ve üzerindeki emisyon debileri için)	5 mg/m ³

Bu konsantrasyon sınırları aşılmamak kaydıyla, I ve II'inci sınıftaki maddeler bir arada atılırsa toplam konsantrasyon 1 mg/m³, I ve III'üncü sınıftaki maddeler veya II ve III'üncü sınıftaki maddeler birarada atılırsa toplam konsantrasyon 5 mg/m³'ü aşamaz.

EK 2

TEORİK HESAPLAMALARA AİT TABLOLAR

Tablo Ek-2.1 CO₂ emisyonu için teorik hesaplar

% sorgum	% CO ₂ (Tatlı-Sorgum)				% CO ₂ (Linyit)				% CO ₂ (Toplam)			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	14,66	14,01	14,78	14,12	14,66	14,01	14,78	14,12
5	0,72	0,69	0,73	0,69	13,92	13,31	14,03	13,41	14,64	14,00	14,76	14,10
10	1,44	1,38	1,45	1,39	13,19	12,61	13,29	12,70	14,63	13,99	14,74	14,09
15	2,16	2,06	2,18	2,08	12,45	11,90	12,55	11,99	14,61	13,96	14,72	14,07
20	2,88	2,75	2,90	2,77	11,72	11,20	11,80	11,28	14,60	13,95	14,71	14,05
25	3,60	3,44	3,62	3,46	10,99	10,50	11,06	10,57	14,59	13,94	14,69	14,03
30	4,32	4,13	4,35	4,16	10,25	9,80	10,32	9,86	14,57	13,93	14,67	14,02
35	5,04	4,82	5,07	4,85	9,52	9,10	9,58	9,16	14,56	13,92	14,65	14,01
40	5,76	5,50	5,79	5,54	8,79	8,40	8,84	8,45	14,55	13,90	14,64	13,99

Tablo Ek-2.2 SO₂ emisyonu için teorik hesaplar

% sorgum	SO ₂ (ppm)			
	(1)	(2)	(3)	(4)
0	1019	974	743	710
5	973	930	709	678
10	927	887	676	646
15	882	843	642	613
20	836	799	608	581
25	790	755	575	549
30	744	711	541	517
35	698	668	507	485
40	653	624	474	453

Tablo Ek-2.3 Teorik hava ihtiyaclarına ait değerler

% sorgum	$v_h (m^3/h)$			
	(1)	(2)	(3)	(4)
0	9,998	9,498	10,508	9,9822
5	9,964	9,466	10,459	9,9357
10	9,930	9,433	10,410	9,8892
15	9,895	9,400	10,361	9,8427
20	9,861	9,368	10,312	9,7962
25	8,827	9,335	10,263	9,7497
30	9,792	9,303	10,214	9,7032
35	9,758	9,270	10,160	9,6567
40	9,724	9,238	10,116	9,6102

Tablo Ek-2.4 Teorik oksijen konsantrasyonlarına ait değerler

% sorgum	% O ₂			
	(1)	(2)	(3)	(4)
0	3,07	3,87	2,31	3,14
5	3,13	3,92	2,39	3,21
10	3,18	3,97	2,46	3,28
15	3,23	4,02	2,54	3,36
20	3,28	4,07	2,61	3,43
25	3,34	4,12	2,69	3,50
30	3,39	4,17	2,76	3,57
35	3,44	4,22	2,83	3,64
40	3,49	4,27	2,91	3,71

Tablo Ek-2.5 Teorik N₂ konsantrasyonlarına ait değerler

% sorgum	N ₂ (%)			
	(1)	(2)	(3)	(4)
0	57,82	55,27	61,26	58,54
5	57,62	55,08	60,96	58,25
10	57,42	54,89	60,66	57,96
15	57,22	54,69	60,36	57,67
20	57,02	54,50	60,05	57,38
25	56,82	54,31	59,75	57,10
30	56,62	54,12	59,45	56,81
35	56,42	53,93	59,15	56,52
40	56,21	53,73	58,84	56,23

Tablo Ek-2.6 Teorik H₂O konsantrasyonlarına ait değerler

% sorgum	H ₂ O (%)			
	(1)	(2)	(3)	(4)
0	12,78	12,21	12,88	12,31
5	12,75	12,18	12,85	12,28
10	12,72	12,16	12,82	12,25
15	12,69	12,13	12,78	12,22
20	12,66	12,10	12,75	12,18
25	12,63	12,07	12,72	12,15
30	12,60	12,05	12,69	12,12
35	12,57	12,02	12,65	12,09
40	12,54	11,99	12,62	12,06

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : M. Handan ÇUBUK
 Doğum Tarihi : 14.12.1961
 Doğum Yeri : İstanbul
 Medeni Hali : Evli, 1 çocuklu
 Yabancı Dili : Fransızca, İngilizce
 Adres : Yıldız Teknik Üniversitesi Mak.Fak.Makine Müh.Böl.
 Termodinamik ve Isı Tekniği A.B.D. Yıldız İstanbul

Öğrenim Durumu

1987 - 1998 : YTÜ Fen Bilimleri Enst. Mak.Müh. Isı Proses, Doktora
 1985 - 1987 : YÜ Fen Bilimleri Enst. Mak.Müh. Isı Proses, Y.Lisans
 1981 - 1985 : YÜ Müh.Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
 1973 - 1981 : Özel Notre Dame De Sion Fransız Kız Lisesi
 1968 - 1973 : Ataköy İlkokulu

İş Durumu:

1998 Nisan- : Yıldız Teknik Üniversitesi Mak.Fak.Makine Müh.Böl.
 Termodinamik ve Isı Tekniği A.B.D. Araştırma Görevlisi
 1986 -1998 : YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi
 1985 - 1986 : Akçağ Mühendislik Ltd.Şti. Proje Sorumlusu