

**TUNÇBİLEK LİNYİTLERİNİN BRİKETLENMESİ VE
YANMA ESNASINDA KÜKÜRDÜN
KÜLDE TUTULMASI**

Ayfer PARLAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2010
ANKARA**

Ayfer PARLAK tarafından hazırlanan TUNÇBİLEK LİNYİTLERİNİN BRİKETLENMESİ VE YANMA ESNASINDA KÜKÜRDÜN KÜLDE TUTULMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL

Tez Danışmanı, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği ile Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayla ÇALIMLI :
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL :
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Baki ERDOĞAN :
Kimya Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ufuk GÜNDÜZ ZAFER :
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ö.Murat DOĞAN :
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih : 08/01/2010

Bu tez ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU :
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Ayfer Parlak

**TUNÇBİLEK LİNYİTLERİNİN BRIKETLENMESİ VE
YANMA ESNASINDA KÜKÜRDÜN
KÜLDE TUTULMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ayfer PARLAK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2010**

ÖZET

Bu çalışmada, 0,5-10 mm boyut aralığındaki Tunçbilek linyitinin Tunçbilek Lavvar atığı şlam ile karıştırılarak, melas ve kireç bağlayıcıları ile briketlenmesi ve yanma esnasında kükürdün külde tutulması amaçlanmıştır. Yüksek kükürt içerikli toz kömür briketlenerek düşük kükürt emisyonu veren, sağlam ve homojen bir yakıta dönüştürülmüştür. Ayrıca hiçbir yerde kullanılamayan şlamın toz kömüre eklenmesi ile endüstriye kazandırılması sağlanmıştır.

Tunçbilek linyiti farklı oranlarda dolomit ve şlam kullanılarak briketlenmiş ve bu oranların külde kükürt tutulma verimleri üzerine etkileri incelenmiştir. Briket yapımında 100 kg kapasiteli pilot ölçekli bir ekipman kullanılmıştır. Briketler TGA cihazında ve sobada yakılarak alınan küllerinin kükürt analizleri sonucu elde edilen külde kükürt tutulma verimleri sırasıyla %74,59 ve %60,18 olmuştur.

Tunçbilek linyiti kükürt türleri belirlenerek, kömürde yanmadan etkilenmeyen sülfat kükürdünün %0,36 olduğu belirlenmiştir. Buna göre TGA cihazı ve soba deneyleri için yanabilir kükürt bazında en yüksek külde kükürt tutulma verimleri sırasıyla %90,77 ve %73,23 olarak bulunmuştur. Briketlerin kısa analizleri de yapılarak piyasaya arzı için hiçbir engel olmadığı görülmüştür.

Briketlerin piyasaya arz edilebilmeleri için incelenen diğer bir parametre dayanıklılık testleridir. Düşme sağlamlığı maksimum %59,64, aşınma sağlamlığı %13,50, kırılma sağlamlığı 18,91 kgf ve suya dayanım %35,89 olarak elde edilmiştir. Dayanıklılık testlerinin tümünü ele aldığımızda şlam içermeyen briket ve şlam içerenlerin içinde %20 şlam ve %6 dolomit içeren briket en iyi sonuçların alındığı briketlerdir.

Bilim Kodu : 912.1.038
Anahtar kelimeler : Linyit, briket, kükürt, şlam
Sayfa Adedi : 104
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL

**BRIQUETTING TUNÇBİLEK LIGNITES AND
RETENTION OF SULFUR IN ASH DURING COMBUSTION**

(M.Sc. Thesis)

Ayfer PARLAK

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2010

ABSTRACT

In this study, it was aimed to briquette the mixture of Tunçbilek lignite in the range of 0,5-10 mm size and Tunçbilek Coal Washing Plant's waste with molasses and dolomite bindings and to achieve retention of sulfur in ash during combustion. Coal fines with high sulfur content was converted by briquetting into a low sulfur, strong and uniform fuel. In addition, Coal Washing Plant's waste which is currently not being utilized has been converted into a usable form in industry by the addition to coal fines.

Tunçbilek lignite was briquetted by using different ratios of dolomite and waste, and the effects of these parameters on the efficiency of retention of sulfur in the ash were examined. A pilot equipment with 100 kg capacity was used for briquetting. Briquettes were burned in a TGA analyser and a commercial stove, and sulfur analyses were made in the ash. Sulfur retention in ash was found as 74,59% and 60,18% by TGA and stove tests, respectively.

Determining the types of sulfur in Tunçbilek lignite, it was indicated that there has been 0,36% sulphate sulfur which is unaffected from combustion.

Accordingly, the highest retention efficiencies of sulfur in ash were evaluated to be 90,77% and 73,23% by TGA and stove tests, respectively. Proximate analyses of the briquettes were also made and the results indicated that there was no obstacle for supplying them to the market.

Another parameter for the suitability of marketing the briquettes is the strength test. It was obtained that shatter strength was maximum 59,64%, abrasion strength was 13,50%, break strength was 18,91 kgf and strength to water was 35,89%. When all of these strength tests were assessed, the briquette without waste and the briquette with 20% waste and 6% dolomite were the ones better than the others.

Science Code	: 912.1.038
Key Words	: Lignite, briquette, sulfur, waste
Page Number	: 104
Adviser	: Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca, her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen ve beni yönlendiren hocam, Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında çok büyük fedakarlık gösterip, yardımlarını eksik etmeyen canım aileme sevgi ve saygılarımı sunarım. TKİ Kurumu GLİ Müessese Müdürlüğü'nün projemize vermiş olduğu maddi destekten dolayı ve çalışmalarımda bana yardımcı olan herkese çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Kömürün Kullanımının Tarihçesi.....	3
2.2. Türkiye’de Kömür Madenciliği.....	4
2.3. Kömürün Oluşumu.....	4
2.4. Kömürün Kullanımını Belirleyen Önemli Özellikleri.....	6
2.4.1. Kömürün fiziksel özellikleri.....	6
2.4.2. Kömürün kısa analizi.....	8
2.4.3. Kömürün elementel analizi.....	11
2.4.4. Kömürün ısı değeri.....	13
2.4.5. Mineral madde içeriği.....	14
2.4.6. Kömür külünün erime özeliği.....	15
2.4.7. Kömürlerin petrografik özellikleri.....	16
2.5. Kömürün Kükürdünün Giderilmesi.....	16

Sayfa

2.5.1. Kömürün içerdği kükürt türleri.....	17
2.5.2. Kükürt giderme yöntemleri.....	19
2.6. Şlam Kömürü.....	21
2.7. Kömürün Kullanım Alanları.....	21
2.8. Kömürün Briketlenmesi.....	25
2.8.1. Briketlemenin yararları.....	26
2.8.2. Briketlemeye etki eden faktörler.....	27
2.8.3. Briketleme yöntemleri.....	31
2.8.4. Kömür briketinde aranan özellikler.....	36
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	39
4. MATERYAL VE METOD.....	42
4.1. Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar.....	42
4.1.1. Kullanılan kimyasallar.....	42
4.1.2. Kullanılan cihazlar.....	42
4.2. Deneysel Yöntem.....	43
4.2.1. Tunçbilek linyitlerinin briketlenmesi.....	43
4.2.2. Briket kömürlere ve orijinal kömürlere uygulanan analizler.....	44
4.2.3. Briketlerin sobada yanma deneyleri.....	45
4.2.4. Briketlerin dayanıklılık analizleri.....	45
4.2.5. 0,5-10 mm Tunçbilek linyiti ve şlamin elementel analizleri ve kükürt türlerinin analizleri.....	50
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	51
5.1. Tunçbilek Linyitlerinin Briketlenmesinde İstatiksel Yaklaşım ile Dolomit ve Şlamin Kükürt Tutma Verimleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi.....	52

Sayfa

5.2. Briketlerin Dolomit ve Şlam Miktarlarının Sobadan Elde Edilen Külün Kükürt Tutma Verimine Etkisinin İncelenmesi.....	56
5.3. 0,5-10 mm Tunçbilek Linyiti ve Şlamın Kükürt Türlerinin Belirlenerek Bunların Külde Tutulma Oranlarına Etkileri.....	58
5.4. Briketlerin Kısa Analizlerinin İncelenerek Piyasaya Arz Durumlarının Belirlenmesi.....	61
5.5. Tunçbilek Linyitinin CMA’da Bekletildikten Sonra Elde Edilen Briketlerin Kükürdünün Külde Tutulma Verimlerinin İncelenmesi.....	64
5.6. Briketlerin Dayanıklılık Testlerine Göre Uygun Şlam ve Dolomit Miktarının Belirlenmesi.....	65
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	74
EKLER.....	77
EK – 1 Baca gazına geçen kükürt (yanıcı kükürt) hesabı.....	78
EK – 2 Orjinal alt ısı hesabı.....	79
EK – 3 Briket numunelerinin düşme ve aşınma sağlamlığı deneyleri için orijinal briketlerin ortalama boyutunun hesaplanması.....	80
EK – 4 Briket numunelerinin düşme ve aşınma sağlamlığı deneyleri sonundaki ortalama tane boyunun hesaplanması.....	81
EK – 5 TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada Kullanılan.....	84
ÖZGEÇMİŞ.....	104

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kömür briketlerinin sahip olması gereken fiziksel ve kimyasal özellikler (TS12055, 1996).....	37
Çizelge 5.1. Deneysel planda bağımsız değişkenlerin gerçek değerleri (X_1 (%, m/m): Şlam miktarı, X_2 (%, m/m): Dolomit miktarı).....	52
Çizelge 5.2. Box-Wilson istatistiksel metoduna göre hazırlanan deneysel çalışma planı (X_1 (%, m/m) : Briketlemede kullanılan şlam miktarı, X_2 (%, m/m) : briketlemede kullanılan dolomit miktarı).....	53
Çizelge 5.3. 45 kg Tunçbilek linyiti ile hazırlanacak briketler için kullanılan malzeme miktarları.....	54
Çizelge 5.4. Tunçbilek linyiti ile hazırlanmış olan briketler için istatistiksel yöntemle belirlenen şartların kullanılması ile bulunan deney sonuçları.....	55
Çizelge 5.5. Tunçbilek linyiti ve şlam ile hazırlanmış olan briketler için sobada yakma deneyi sonucunda bulunan külde kükürt tutulma oranları.....	57
Çizelge 5.6. Tunçbilek linyiti ve şlamın kükürt türlerinin deney sonuçları.....	59
Çizelge 5.7. Tunçbilek linyiti ve şlamın TGA ve sobada yanma deneyi sonucu elde edilen külde kükürt tutulma oranlarının düzeltilmesi.....	60
Çizelge 5.8. Tunçbilek linyiti ve şlamın elementel analiz sonuçları.....	61
Çizelge 5.9. Tunçbilek linyiti, şlam ve briketlerin kısa analizleri ve kükürt analizleri.....	63
Çizelge 5.10. Tunçbilek linyitinin CMA çözeltilisinde bekletilerek elde edilen briketlerin kısa analiz sonuçları ve külde kükürt tutma verimlerinin karşılaştırılması.....	64
Çizelge 5.11. Briketlerin düşme ve aşınma deneylerindeki boyutlarının ve stabilitelerinin karşılaştırılması.....	66
Çizelge 5.12. Briketlerin dolomit ve şlam oranlarının düşme ve aşınma sağlamlığı üzerine etkileri.....	67
Çizelge 5.13. Suyu dayanım yüzdesini hesaplamak için yapılan kırılma test sonuçları.....	68

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.14. Briketlerin kırılma sağlamlığı ve suya dayanım deneyleri sonuçlarının karşılaştırılması.....	69

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kömür briketleme işlemleri.....	34
Şekil 4.1. Düşme testi deney düzeneği.....	46

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Briket makinesi ve elde edilen briketler.....	44
Resim 4.2. Düşme sağlamlığı deneyi sonrası elek analizi.....	47
Resim 4.3. Aşınma sağlamlığı deneyi için kullanılan tambur.....	48
Resim 4.4. Kırılma sağlamlığı deneyi için kullanılan paralel iki levhalı pres.....	49
Resim 4.5. Yumurta şekilli briketlerin kırma deneyinde konumu.....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
B	Sobada ya da TGA’da yakılan kömür briketi kütlesi (g)
C_i	Numunenin her bir elek üzerinde kalan yüzdesi (%)
K	Sobada ya da TGA cihazında kalan külün kütlesi (g)
ℓ	Deneyden önceki briketlerin ortalama boyutu (mm)
ℓ_{ort}	Deneyden sonraki briketlerin ortalama boyutu (mm)
m₁	Her bir elek üzerinde kalan kısım (g)
Orj.K.Üst Isı	Orjinal kömürde üst ısı değeri (cal/g)
Orj.KAİD	Orjinal kömürde alt ısı değeri (cal/g)
Orj.Nem	Orijinal kömürde nem değeri (%)
S	Baca gazına geçen kükürt oranı (yanıcı kükürt) (%)
S_B	Kömür briketinin toplam kükürt yüzdesi (%)
S_K	Sobada ya da TGA’da kalan külün kükürt yüzdesi (%)
T_o	Orijinal briketlerin kırılma sağlamlıkları (kgf)
T_s	Suya atılan briketlerin kırılma sağlamlıkları (kgf)
λ	Elek sayısı

Kısaltmalar	Açıklama
ASTM	American Society for Testing and Materials
CaSO₄	Kalsiyum Sülfat
CMA	Kalsiyum Magnezyum Asetat
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
SC	Kükürt-karbon cihazı
SO₂	Kükürtdioksit
TÇMB	Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği

TGA	Nem-kül-uçucu madde cihazı
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri
TS	Türk Standartları

1. GİRİŞ

Fosil enerji kaynaklarından olan kömür; dünya üzerinde yaygın olarak bulunması, üretilmesi ve görünür kömür rezervlerinin şu anki üretim seviyeleri baz alındığında diğer fosil yakıtlara göre ömürlerinin fazla oluşu, düşük maliyeti, taşıma kolaylığı, depolama imkanlarının rahatlığı, kullanımının kolaylığı yönünden emniyetli ve güvenilir olması, kullanıcıya arzının ucuzluğu ve sürekliliği, gibi özellikleri ile vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır. Kömürün bu konumu, geçmişte olduğu gibi gelecekte de sürdürülebilir kalkınma ve enerjide güvenilirlik açısından önemli bir role sahip olmaya devam edecektir.

Türkiye kömür rezervleri içinde en büyük pay 8,4 milyar tonluk rezervle linyitlerimize aittir. Türk linyitleri kırılğan bir yapıya sahip olduğundan, üretim, hazırlama, taşıma ve depolama esnasında %30-40 oranında tozlaşmaktadır. Bu tozların ve küçük boyutlu kömürlerin değerlendirilebilmesi için briketlenerek sağlam ve homojen bir yakıtı dönüştürülmesi gerekmektedir.

Ülkemiz linyitlerinin genç kömür olması nedeniyle, ısı değerleri düşük, kükürt oranları oldukça yüksektir. İçerisinde %2-4 kükürt bulunan kömür, yakıldığında baca gazındaki derişim; 1400-2800 ppm arasında olmaktadır. Temiz kömür teknolojileri, kömür üretme, hazırlama ve kullanımının çevresel bakımdan uygunluğunu ve verimliliğini geliştirmek için tasarlanan yeni tekniklerdir. Bu bakımdan eldeki düşük kaliteli ve yüksek kükürt içeriğine sahip linyitleri verimli ve temiz biçimde yakılması için yanma esnasında oluşan SO₂'yi tutmak amacı ile adsorbent olarak briket yapımı esnasında kireç kullanımı kolay ve ucuz bir yöntemdir.

Kömür yıkama tesislerinin en alt ürünü olan 0,1-0,5 mm boyut aralığındaki malzeme olan şlam belirli bir kalori değerine sahiptir, fakat talep gelmediğinden satılamamakta ve şlam havuzlarında bekletilmektedir. Şlamın briketlemede kullanılan toz kömüre eklenmesi ile endüstriye kazandırılması öngörülmektedir.

Bu çalışmada, 0,5-10 mm boyut aralığındaki Tunçbilek linyiti, melas, dolomit ve şlam ile karıştırılıp standartlara uygun briket yapılması amaçlanmıştır. Yapılacak briketlerin fiziksel ve suya dayanıklılık testleri yapılarak en uygun formülasyonu bulmak için parametrik çalışma yapılmıştır. Ayrıca, üretilen briketlerin sobada yakma testleri de yapılarak, külde tutulan kükürt miktarı belirlenmiştir.

2.KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kömürün Kullanımının Tarihçesi

Milattan önce, Çin'in kuzeyindeki terk edilmiş maden yataklarında ilk kez kömüre rastlanmıştır. O dönemde, Orta Asya ve Altaylar'da yaşayan ve demircilik sanatını çok iyi bilen Türkler, demirlerin ergitilmesi için gerekli olan ısıyı kömürden elde etmişlerdir.

Kömür M.S. 122 yılında Romalılar tarafından tanınmış ve İngiltere'de metal ergetmek için ve yakıt olarak kullanılmıştır. Kömür, sırasıyla Avrupa'nın diğer bölgelerinde tanınmaya başlamış ve gerçek anlamda yakıt olarak kullanılmaya başlamıştır.

Kömür tüketimi, özellikle buharla çalışan makinelerin keşfinden sonra hızla artmıştır. Böylece kömür, tüm dünyada önemli bir enerji hammaddesi olarak kabul görmüştür [1].

Kömür dünyada en yaşlı bir şekilde bulunan, güvenilir aynı zamanda düşük maliyetlerle elde edilebilen temiz bir fosil yakıttır. Kömür dünyada 50 den fazla ülkede üretilmektedir. Kömür rezervleri diğer fosil yakıtlar gibi (petrol ve doğalgaz) dünyanın belli bir bölümünde değil tüm dünyada yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Kömür kullanımı, depolanması ve nakliyesi açısından en emniyetli fosil yakıttır. Endüstriyel ve diğer alanlarda elektrik enerjisinin rekabetçi fiyatlarla ve güvenilir olarak temini açısından, kömürün dünyada yaygın bir şekilde bulunuşu ve bir çok ülke tarafından üretiliyor oluşu tedarikte güvenilirliği sağlamaktadır. Temiz Kömür Teknolojileri kullanılarak günümüzde kömür tüm dünyada doğayı kirletmeden kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde ucuz ve rekabetçi bir yakıt olması nedeniyle dünya elektrik üretiminin yaklaşık %40'ı kömürden karşılanmaktadır [2].

2.2. Türkiye’de Kömür Madenciliği

Türkiye’de kömür ilk defa 1829 tarihinde Karadeniz Ereğlisi’ne bağlı Kestaneci köyünde Değirmen mevki, Viran Deresi boyunda bulunmuştur. Linyitin bulunuşu hakkında ise kesin bir bilgi yoktur.

Anadolu’nun hemen her bir köşesinde linyit oluşumuna rastlanmaktadır. Bu özellik Anadolu’nun jeolojik evriminin linyit oluşumuna uygun olmasından kaynaklanmaktadır. Türkiye’de linyit yatakları; genellikle, Alpin dağ oluşum hareketlerinin etkisi sonucu oluşmuş, dağ silsileleri arasındaki çöküntü havuzlarında gelişmiştir. Türkiye’de yaklaşık 8,4 milyar ton linyit rezervi saptanmıştır [3].

Türkiye’nin en büyük linyit havzası Doğu Anadolu’da bulunan Afşin-Elbistan havzası olup, 3,2 milyar ton rezervi vardır. Doğu Anadolu’da ayrıca Bingöl-Halifan Linyit yatağı işletilebilir durumdadır.

Orta Anadolu Linyit yataklarından Ankara-Beyşehir Linyit Havzası, Sivas-Kangal Linyit Havzası, Konya-Beyşehir Linyit Havzası, Çankırı-Orta, Bolu-Mengen-Gökçesu Linyit Havzası en önemli linyit havzalarıdır.

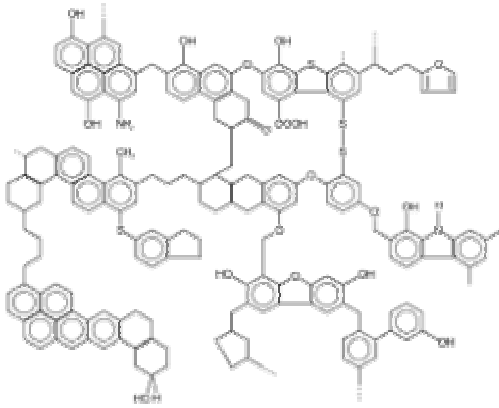
Ege Linyit Yataklarından Kütahya-Tunçbilek Linyit Havzası, Kütahya-Seyitömer Linyit Havzası, Manisa-Soma Linyit Havzası en önemli linyit havzalarıdır.

2.3. Kömürün Oluşumu

Çoğunlukla bitkisel maddeler ya da bitki parçaları uygun bataklık ortamlarda birikip, çökeler ve jeolojik işlevlerle birlikte yer altına gömülürler. Yerin altında, bu organik kütleler, gömüldükten sonra, önceleri gömülmenin oluşturduğu basınç şartları, daha sonrada ortamın ısısal şartlarından etkilenirler. Bu etkilenme sonucu bu organik maddenin bünyesinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Önceleri turba olarak adlandırılan ve kömürlerin ataları olarak bilinen bu organik maddeler zamanla daha koyu renklere sahip olur ve daha sert yapıya sahip olurlar. Sıcaklık ve basınç

şartlarının bu kütlelere etkimesi sonucu, bu ortamdan, sırasıyla önceleri (turbadan-taşkömürü aşamasına kadar) su ve su buharı, karbon dioksit (CO₂), oksijen (O₂) ve en ileri aşamalarda hidrojen (H₂) (antrasit aşamasında) uzaklaşır. Tabii ki bu süreçte ideal şartlar ve ortamın ısısal şartlarının uzun bir dönem içerisinde (binlerce yıl) baskın olması ve artması gerekmektedir. Yer ısısı her 30 metrede 10 °C artmaktadır. Şüphesiz sıcaklık artışı ideal ve normal şartlar için geçerlidir. Bu şartların dışında (volkanik faaliyet, fay hareketleri, radyoaktif elementlerin bulunduğu ortamlarda) yerin ısısı olağan üstü bir şekilde ve normalden çok fazla bir şekilde artmaktadır. Yerin ısısı arttıkça önceleri *turba* olarak adlandırılan ama kömür sayılmayan bu organik madde, önce *linyit* daha sonra *alt bitümlü kömür*, sonra *taşkömürü*, *antrasit* ve en sonunda şartlar uygun olursa *grafit*’ e dönüşür. Bu ilerleyen olgunlaşma sürecine *Kömürleşme (Coalification)* denmekte, her seviyeye de *kömürleşme derecesi (Rank)* denmektedir.

Kömürler şüphesiz içlerinde kil, şist, kum ve değişik oranlarda inorganik (mineral) madde bulundururlar. Kömürlerin içerisinde bulunan bu inorganik maddeler kömürün kalitesini direkt olarak negatif yönde etkilerler. Bir kömürün kalitesi, kullanıldığı alana göre farklı anlamlar içerebilir. Örneğin; kok imalinde en kaliteli kömür, şişebilen, gözenekli hale gelebilen ve dayanıklı olabilen, okside olmamış kömürler en iyi kömürlerdir. Yakıt hammaddesi olarak kömürün koklaşması bir anlam ifade etmez, en aranan özellik fazla ısısal niteliğe sahip olmasıdır. Kömürü sıvılaştırma işlemine tabi tuttuğumuzda ise en aranan özelliği uçucu maddesinin fazla olması gelmektedir. Ama tümünde inorganik madde istenen bir bileşen değildir. Linyit ve kısmen alt bitümlü kömürler genellikle yumuşak, kırılğan ve mat görünüştedirler. Bu tip kömürlerin ana özelliği göreceli olarak yüksek nem içerirler ve karbon içerikleri düşüktür. Antrasit ve Bitümlü kömürler ise genellikle sert ve parlak görünüştedirler. Göreceli olarak nem içerikleri düşük olup, karbon oranları yüksektir. Jeolojik olarak kömürlerin yaşları 400 milyon yıl ile 15 milyon yıl arasında değişir. Genellikle yaşlı kömürler daha kalitelidir [2].



Kömürün kimyasal yapısına bir örnek

2.4. Kömürün Kullanımını Belirleyen Önemli Özellikleri

Kömürün çeşitli alanlarda, en verimli şekilde kullanımını sağlamak, önemli teknolojik özelliklerinin bilinmesi ile olanaklıdır. Ülkemizde, rezervi en yüksek, fosil yakıt olan kömürün; üretim, hazırlama, taşıma, dönüşüm ve yakma prosesleri, sahip olduğu fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinden önemli ölçüde etkilenmektedir [4].

2.4.1. Kömürün fiziksel özellikleri

Yoğunluk

Yoğunluk; yığın yoğunluğu, görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk olmak üzere üç farklı şekilde ifade edilmektedir. Linyitlerin gerçek yoğunluğu, içerdikleri inorganik madde ve nem oranına bakarak artmasına rağmen 1,3 ile 1,5 g/cm³ arasında değişmektedir. Yoğunluk, kömür hazırlama işlemlerinin gerçekleştirildiği yıkama tesislerinin tasarımında önemli bir parametredir.

Gözeneklilik ve yüzey alanı

Gözeneklilik teriminden, gözeneklerin işgal ettiği hacim yüzdesi anlaşılır. Kömürün gözenekliliğinin fazla olması halinde depolandığında, atmosferik oksijenle temas

yüzeyi artacağından oksitlenmelere yol açabilir. Bu nedenle gözeneklilik ekonomik önem taşır. Gözeneklilikleri, kömürleşme derecelerine bağlı olarak %3 (antrasit) ile %25 arasında değişmektedir. Gözenekli bir katı taneciğin sahip olduğu yüzey sadece dış yüzeyle sınırlı olmayıp, gözenek duvarlarının yarattığı yüzeyin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Sertlik

Kömürleşme dereceleri farklı olan kömürlerin Mohs sertlik ölçeğinde aldıkları yaklaşık değerleri şöyledir:

- Linyitler için 1 ile 3 arasında
- Bitümlü kömürler için 2,5 ile 3,0 arasında
- Antrasitler için 3 ile 4 arasında değişmektedir.

Öğütülebilirlik

Öğütülebilirlik; kömürün öğütülme kolaylığını saptamaya yönelik yöntem olarak kömür numunesinin standart yük ve devir altında, sekiz çelik küre ile öğütülmesi prensibine dayanmaktadır. Öğütülebilirlik, bu testi öneren Ralph Hardgrove'a atfen Hardgrove indeksi olarak tanımlanmaktadır. Hardgrove indeksi değeri, kömürü işlemek için gerekli öğütme cihazlarının tasarımı için bilinmesi gereken önemli bir büyüklüktür.

Isıl iletkenlik

Isıl iletkenlik; bir maddenin ısı enerjisini sıcak bir bölgeden daha soğuk bir bölgeye iletme özelliğidir ve birim alandan, birim zamanda, birim kalınlıktaki bir derecelik sıcaklık farkı nedeniyle iletilen ısı birimini gösteren bir katsayı ile ifade edilir. Bu sayı, Fourier'in kondüksiyon yasasındaki orantı sabiti olup, kondüksiyonla olan ısı akısıyla (q), itici güç sıcaklık farkı (ΔT) arasında bir bağıntıyı oluşturmaktadır.

Uçucu maddesinin, nem içeriğinin ve yoğunluğunun artmasıyla, kömürün ısı iletkenliğı artmaktadır.

Özgöl ısı

Özgöl ısı; birim kütlenin ısı ı kapasitesi olarak tanımlanabilir. Özgöl ısı, kömürün özelliklerine bağı ı olarak, genellikle 0,2-0,4 kcal/kg°C arasında değı ır. Kömürün karbonizasyon derecesi, özgöl ısısını önemli ölçüde etkilemektedir. Suyun özgöl ısısı kömürünün yaklaşık dört katı kadar olduğundan, kömürün nem içeriğinin artması, özgöl ısısında büyük ölçüde artışa neden olmaktadır [4].

2.4.2. Kömürün kısa analizi

Kömürün; nem, uçucu madde, kül ve sabit karbon içerikleri, kısa analiz sonucu saptanan özelliklerini oluşturur.

Nem

Kömürün içerdığı nem miktarı oldukça önemlidir ve kömürün tüm mekanik ve fiziksel özellikleri, içerdığı nem miktarı ile, özellikle de bu nemin kömüre ne şekilde bağı ı olduğu ile ilgilidir.

Nem kömürde üç şekilde bulunmaktadır:

Bünye nemi

Fiziksel olarak kömüre bağı ı olan su, bünye nemini veya higroskopik nemi oluşturur. Azot ortamında $105\pm3^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki ortamda kömürün kaybettiğı nem miktarıdır. Kaba (m) örnek konur ve tartılır (m_1). Azot dolaşımlı etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulur, desikatörde soğutulur ve tartılır (m_2). Nem oranı Eş. 2.1'deki bağıntıdan hesaplanır.

$$\text{Nem oranı (\%)} = ((m_2 - m_1) / (m_1 - m)) \times 100 \quad (2.1)$$

Burada;

m: Boş kabın ağırlığı, g

m₁: Isıtmadan önce kabın ve örneğin ağırlığı, g

m₂: Isıtmadan sonra kabın ve örneğin ağırlığı, g.

Kaba nem

Kömür yüzeyinde tutulan suya kaba nem veya yüzey nemi denir ve kömür yüzeyindeki boşlukları doldurur. Kömürün içerdiği kaba nem; kömür, ağırlığı sabit kalana kadar havayla temasta bırakılmak suretiyle belirlenen ağırlık kaybından hesaplanır. Kaba nemi bu şekilde giderilmiş olan kömür, havada kuru olarak adlandırılmaktadır.

Molekül suyu

Kömürün içerdiği molekül suyu veya hidrat suyu, kömüre kimyasal olarak bağlıdır. Kömürün toplam nem içeriği içindeki payı düşüktür.

Kömürün toplam nem içeriği, kaba nem ve bünye neminin toplanmasıyla hesap edilir. Toplam nem doğrudan orijinal kömürden yapılan nem tayini şeklinde de uygulanabilir. Bu yöntemde TS 690 standardına göre orijinal kömür tartılır, 105±3°C sıcaklıkta sabit tartıma gelene kadar kurutulur ve nem yüzdesi hesap edilir [26].

Uçucu madde

Kömür, oksijensiz ortamda ısıtıldığında kimyasal olarak değişikliğe uğrar ve kömürden, çoğunluğu hidrojen, karbonmonoksit, metan ve diğer hidrokarbonlar gibi yanıcı gazlardan oluşan, karbondioksit ile su buharı gibi yanmayan gazları ve katran buharlarını da içeren uçucu madde çıkışı olur. Kaba nem ve bünye nemi uçucu

maddeye dahil edilmez; ancak, kömürün ayrışması sonucu oluşan su buharı, uçucu madde içinde yer alır.

Kömürün uçucu madde içeriğinin saptanması amacıyla geliştirilmiş olan yöntemlerde, kömür, 850-1050°C arasında değişen bir sıcaklıkta, 3 dakika ile 20 dakika arasında değişen sürelerde ve platin, silika veya seramikten yapılmış krozelerde ısıtılır ve uğradığı ağırlık kaybından, içerdiği nem miktarı çıkarılarak uçucu madde miktarı bulunur. ASTM D 5142 standardına göre 950±20°C sıcaklıkta, azot atmosferindeki fırında 1 gram kömür numunesi 7 dakika tutulur ve ağırlık kaybından kömürün uçucu madde içeriği belirlenir [31].

Kül

Kömür yandığında kalan külün kaynağı, kömürün içerdiği mineral maddelerdir. Kömürün kül içerdiğini söylemek yanlıştır. Kömür kül içermez; kömür yandığı zaman, içerdiği mineral maddelerin şu temel değişikliklere uğraması sonucunda kül oluşmaktadır:

- Hidrat suyu kaybı
- Karbonatların parçalanması
- Kükürtlerin parçalanması
- Alkali metal klorürlerin uçucu hale gelmesi
- Kömürün yanması sonucu oluşan metal oksitlerin, organik ve pritik kükürdün bir kısmını kükürttrioksit halinde tutması
- Eğer sıcaklık yeterince yüksek ise, oksitler, silikatlar ve serbest silikanın tepkimeye girerek yeni bileşikler oluşturması

Kül kömürün istenmeyen bir bileşenidir; yakma alanına taşınır ve işlem sonunda atılır. Kömür külünün içerdiği bazı bileşenler çeşitli amaçlarla kullanılabilirse de külün ekonomik değeri düşüktür.

Kömür külündeki silikatların kaynağı, şist ve kil mineralleridir. Demir oksidin en önemli kaynağı pirittir; kömürün yanması sırasında pirit, demir-III-oksidi ve kükürt oksitlerini oluşturur. Kalsiyum ve magnezyum oksitler, karbonat minerallerinin parçalanması sonucu oluşur. Sülfatlar ise büyük ölçüde, yanma sırasında oluşan kükürt oksitlerinin metal oksitler ile girdiği tepkimeler sonucunda oluşmaktadır. Kül analizinde genellikle şu bileşikler saptanmaktadır: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , TiO_2 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 ve SO_3 [4].

ASTM D 5142 standardına göre, tane boyutu 0,25 mm'nin altına öğütülmüş olan 1 gram kömür numunesi sıcaklığı 700-750°C olan oksijen ortamındaki bir fırında ağırlığı sabit kalana kadar bekletilir. Kül miktarı, kalan kütlenin tartılması sonucu belirlenir [31].

Sabit karbon

Sabit karbon kuru kömür bazında Eş. 2.2'den hesaplanır. Uçucu madde hesaplanırken kömür bazı kuru kömür bazına indirgenir. Nem oranından gelen uçucular ile anorganik bileşenlerden kaynaklanan nem içerikleri sıfır kabul edilir.

$$\text{Sabit C\%} = 100 - (\text{Uçucu madde \%} + \text{Kül \%}) \quad (2.2)$$

2.4.3. Kömürün elementel analizi

Karbon ve hidrojen içeriği

Karbon ve hidrojen, kömürde hem organik hem de anorganik yapıda bulunmaktadır. Kömür yandığı zaman oluşan ısının hemen hemen tamamı içerdiği karbon ve hidrojenin yanması sonucunda oluşmaktadır.

Kömürün içerdiği karbon ve hidrojenin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş olan yöntemlerin tümü, belirli ağırlıktaki kömürün kapalı bir sistemde yakılmasıyla oluşan karbondioksit ile suyun adsorpsiyonuna dayanır. Kömürün, 850-900°C'de

gerçekleştirilen yakma işlemi sonucunda oluşan karbondioksidi tutmak amacıyla genellikle sodyum ve potasyum hidroksit, suyu tutmak amacıyla ise susuz magnezyum perklorat kullanılmaktadır. ASTM D 5373 standardına göre enstrümental olarak belirlenebilmektedir [28].

Azot içeriği

Kömürün içerdiği azotun tamamı organik yapıdadır. Kömürde bulunan ve azot içeren fonksiyonel gruplar şunlardır: Primer, sekonder ve tersiyer aminler, nitriller, piroller, piridinler ve amidler.

Kömürün yakıt olarak kullanılması sonucu yayılan azot oksitler, kükürt oksitlerden sonra kömürden kaynaklanan ikinci önemli hava kirleticidir. Yakma sistemlerinin tasarımı, hava/kömür oranı, sıcaklık ve kömürün içerdiği azot miktarı, yayılan azot oksit miktarını önemli ölçüde etkilemektedir.

ASTM D 5373 standardına göre enstrümental olarak belirlenebilmektedir [28].

Oksijen içeriği

Kömürdeki oksijen içeren fonksiyonel gruplar şunlardır: Hidroksitler (ağırlıklı olarak fenoller), eterler, karboksilik asitler, karboniller, furanlar, piranlar ve esterler. Kömürün oksijen içeriğinin doğrudan saptanması oldukça zordur; çünkü oksijen, kömürün içerdiği minerallerde anorganik, organik yapı içinde ise organik bileşikler halinde ve ayrıca da nem içerisinde bulunmaktadır.

Kömürün oksijen içeriğini ASTM D 3176 standardına göre Eş. 2.3'den hesaplayarak bulmak en sık uygulanan işlemdir [29].

$$O (\%) = 100 - (\text{kül} + \text{nem} + C + H + N + S) (\%) \quad (2.3)$$

Kükürt içeriği

Kömürün içerdiği kükürt türleri, organik kükürt ve inorganik kükürttür. Organik kükürt bileşikleri, kömürde asıl yapının bir parçası olarak, düzgün dağılmış halde bulunurlar. Bu tür kükürdün kökeni, kömürü oluşturan bitkisel maddelerin içerdiği amino asitlerdir.

İnorganik kükürt kömürde, sülfat, disülfür ve elementel kükürt şekillerinde bulunmaktadır. Sülfat kükürdü, hidroklorik asit (HCl) içinde çözünen sülfat iyonu miktarına eş değerdir. Kalsiyum, demir, bakır, baryum ve magnezyum tuzları halinde bulunabilen sülfat kükürdü, gevşek kristaller halindedir. Kömürün içerdiği sülfat kükürdünün miktarı oldukça azdır; fakat hava ile temas ettikçe artar. Disülfür kükürdünü büyük ölçüde FeS_2 'ün iki kristal şekli olan, pirit ve markasit oluşturur. FeS_2 'ün çoğu piritik olduğundan pirit ismi bütün FeS_2 'ler için kullanılır [27].

Kömürün yakılması sonucu oluşan kükürtdioksit, hava kirliliğinin başlıca nedenidir. Kömürün yanması sırasında, içerdiği kükürdün bir kısmı külde kalır; çevre kirliliğine neden olan, yanar kükürt içeriğidir ve kömürün toplam kükürt içeriğinden küldeki kükürt çıkarılarak bulunur.

2.4.4. Kömürün ısı değeri

Bir yakıtın ısı değeri, birim ağırlıktaki yakıtın tamamen yanması sonucu açığa çıkan ısı miktarıdır. Katı yakıtlar için yaygın olarak kullanılan ısı değer birimleri, kJ/kg, MJ/kg ve kcal/kg'dır.

Bir kömürün ısı değeri, kömürleşme derecesine ve organik yapısına karışmış olan yanmayan maddelerin miktarına bağlıdır. Genç kömürlerin ısı değerleri düşüktür, çünkü oksijen ve nem içerikleri yüksektir; fakat, genç kömürler çok yaygın olarak yakılmaktadır; bunun nedeni, miktarlarının fazla ve fiyatlarının düşük olmasıdır.

ASTM D 5865 standardına göre kömürün ısı değeri oksijen kalorimetre bombasında yakılması ile belirlenebilir. Bu yöntemde kömür bir bomba içinde, basınç altında, oksijen ile sabit hacimde yakılarak, açığa çıkan ısı ölçülür. Kalorimetre bombasında yakma yöntemi ile saptanan yanma ısisına üst ısı değeri denir [30].

Alt ısı değeri ise, oluşan suyun yoğunlaşma ısisının, üst ısı değerinden çıkarılması ile bulunur. Alt ısı değeri, gerçeğe daha yakın bir büyüklüktür ve saptanabilmesi için yakıtın hidrojen içeriğinin bilinmesi gerekmektedir.

2.4.5. Mineral madde içeriği

Mineral madde, kömürün organik yapısının parçası olmayan elementlerin toplamıdır. Kömürdeki mineral maddeler, çıplak gözle görülebilecek büyüklükten optik mikroskopla veya elektron mikroskopuyla görülebilen mikron boyutlarına kadar çeşitli boyutlarda olabilmektedir.

Kömürün içerdiği mineral maddelerin %95'inden fazlasını majör bileşenler oluşturur. Majör bileşenler dört gruba ayrılmaktadır:

Killi mineraller: İllit, kaolinit, montmorillonit ve illit-montmorillonitlerin karışımı olarak ortaya çıkan alüminosilikatlar, toplam mineral maddenin %50'sini teşkil eder.

Karbonat mineralleri: Kalsit, siderit, dolomit ve ankeritin yanı sıra kalsiyum, demir, magnezyum ve manganın çeşitli kompleks ve karbonatları da kömürün içerdiği majör bileşenlerdendir.

Kükürtlü mineraller: Genellikle FeS_2 'ün iki kristal şekli olan pirit ve markasit kükürtlü mineralleri oluşturur: piritin kristal şekli kübik, markasitinki ise rombiktir.

Silikat mineralleri: Büyük miktarı kuvars şeklinde ortaya çıkar ve toplam mineral maddenin %15-20'sini oluşturur.

İçerdiği mineral madde, kömürün üretimini, hazırlanmasını ve kullanımını etkiler. Kömür kullanımı sırasında ortaya çıkan sorunların birçoğu içerdiği mineral maddelerden kaynaklanmaktadır. Kömür bir yakma ünitesinde yakıldığında, içerdiği mineral maddeler önemli kimyasal ve fiziksel değişikliklere uğrar ve klinker oluşumu, korozyon, cüruf ve kurum gibi sorunlar yaratır.

2.4.6. Kömür külünün erime özelliği

Kömürün külü, yüksek sıcaklıklara ısıtılırsa yumuşar ve akışkanlaşır. Kömürün külü; kristal, yarı kristal ve camsı minerallerinin çok karmaşık bir karışımıdır; bu nedenle belirli bir erime sıcaklığı göstermesi beklenemez. Kül erime testleri sonucunda belirli bir erime sıcaklığı saptanamaz. Bu testler, piramit biçimi veya silindirik bir şekil verilmiş olan kül peletlerinin bir laboratuvar fırınında, oksitleyici veya az indirgeyici atmosferde, kontrollü olarak ısıtılmaları sırasındaki, şekil deformasyonu, büzülme ve akma gibi, numunenin dış görünüşünde meydana gelen değişikliklerin gözlenmesi suretiyle gerçekleştirilir.

Külün erimesi sırasında dört kritik sıcaklık saptanabilmektedir:

Başlangıç deformasyon sıcaklığı: Piramitin tepesinin yuvarlaklaşması

Yumuşama sıcaklığı: Yüksekliğin, genişliğe eşit olduğu durum

Yarım küre sıcaklığı: Yüksekliğin, genişliğin yarısına eşit olduğu durum

Akma sıcaklığı: Yüksekliğin, 1,6 mm olduğu durum

Test sonucu saptanan yumuşama sıcaklığına genellikle külün erime sıcaklığı denir ve külün başlangıç deformasyonu ile akma durumu arasında gözlenmiş olan durumu ifade eder. Hem yumuşama hem de yarım küre sıcaklıkları, kömürün külünün büyük bir hızla kütle oluşturma ve ısı değiştiricilerin yüzeylerine büyük miktarlarda yapışma eğilimi gösterme durumuyla ilgilidir. Standart test sonucu saptanan akma

sıcaklığı ise kömürün külünün fırın cidarlarından damlalar veya akıntı halinde aşağı aktığı durumla ilgilidir [4].

2.4.7. Kömürlerin petrografik özellikleri

Kömürleri oluşturan makroskopik ve mikroskopik yapı maddeleri şunlardır;

Maseraller: Kömürlerin elementer petrografik yapı maddeleridir. 10 çeşit maseral vardır. Bunlar; kollimit, pelinit, sparonit, rezinit, füzinit, alginit, mikrinit, semifüzinit, skleromittir.

Maseral Grupları: Petrografik özellikleri birbirine benzeyen maseraller maseral grupları olarak adlandırılır. Bunlar; vitrinit (linyit ve alt bitümlü kömürlerde Huminit), liptinit ve inertinittir.

Mikrolitotipler ve Litotipler: Kömürlerde mikroskopla saptanan maserallerin birleşmesinden oluşmuş, kalınlığı en az 50 mikron dolayında olan katmanlar mikrolitotip adını alırlar. Yedi tane mikrolitotip vardır. Vitrit, vitrinertit, klarit, duroklarit, klarodurit, durit, füzit. Mikroskopik olarak görünen mikrolitotiplerin bileşiminden oluşan katman ve kısımlar ise litotiptir. Kömürde bulunan mineral maddeler ise; kil (illit, serisit), karbonatlar (siderit, dolomit), sülfürler (makrosit, pirit, galen), oksitler (limonit, hematit) ve kuvarstır [2].

2.5. Kömürün Kükürdünün Giderilmesi

Hava kirliliğinin global boyutta dikkate alındığı günümüzde çevre bilinci gelişmiş ve çevreyi koruyucu çalışmalar hızlanmıştır. Hava kirliliği, sadece canlıları değil ekolojik dengeyi de bozarak gelecek kuşakların yaşantılarını da risk altına sokmaktadır. Kömür kullanılması durumunda, özellikle ısıtmadan kaynaklanan hava kirliliğinin azaltılması büyük önem taşımaktadır.

Hava kirleticiler içerisinde kükürtdioksit en zararlı kirleticilerden biridir. Atmosferdeki SO₂ oranının 24 saatlik ortalamasının 300 µg/m³ (0,1 ppm)'in üzerinde çıkmasının tıp dünyasında sağlık açısından zararlı olduğu kabul edilmiştir. Bu oranın 900-1000 µg/m³'ün üzerine çıktığı durumlarda insan hayatının riske girdiği görülmüştür [13].

Yüksek kükürt içerikli kömürlerin herhangi bir önışlemden geçirilmeden yakılmaları, atmosferdeki kükürtdioksit emisyonlarının artmasındaki en önemli nedenlerden biri olarak kabul edilmektedir. Atmosfere bırakılan kükürtdioksit miktarı, önışlemlerle azaltılabilir. Küçük ölçekli sanayinin yaygın olarak görülmesi ve konutların büyük bölümünde bireysel ısınmanın söz konusu olması durumunda, kükürtlü bileşiklerin, kömürün yakılmasından önce kömürden uzaklaştırılması en etkili yöntem olarak görülmektedir. Kömürün içerdiği kükürt, sadece hava kirliliğine değil, aynı zamanda cüruf oluşumuna, kazan borularının tıkanmasına ve yakma sistemlerinde korozyona da neden olmaktadır. Kömürün içerdiği kükürtlü bileşiklerin yanma öncesi kömürden uzaklaştırılması, fiziksel, kimyasal veya biyolojik yöntemlerden birinin veya birkaçının birlikte uygulanması yoluyla gerçekleştirilmektedir [6].

2.5.1. Kömürün içerdiği kükürt türleri

Kükürt, kömürde inorganik ve organik yapıda olmak üzere iki ayrı türde bulunmaktadır. İnorganik kükürdü, sülfat ve piritik kükürt; organik kükürdü ise kömürün hidrokarbon yapısıyla bağ yapmış kükürt bileşikleri oluşturmaktadır. Kömürde eser miktarda elementel kükürt de bulunmaktadır.

İnorganik kükürt

Sülfat kükürdü

Sülfat kükürdü, kömürdeki toplam kükürdün önemsiz bir yüzdesini (% 0,07 - % 0,2) oluşturur ve kömürde kalsiyum ya da demir sülfat olarak bulunur. Kalsiyum sülfat tüvenan kömürde bulunabilirken, demir sülfat kömürün oksidasyonu sonucu oluşur.

Mevcut sülfatlar genellikle düşük miktarlarda olup yanma sonucunda da genellikle külde kaldığından önemli bir kirletici sayılmazlar.

Sülfür ve disülfür kükürdü

FeS_2 bileşiğinin iki farklı kristal yapısı, disülfürlerin büyük kısmını oluşturmaktadır. Kristal yapısı kübik olan tür pirit, rombik olan tür ise markasittir. Pirit, markasitten daha kararlı ve daha az reaktiftir.

İster gözle görülebilir (makroskopik), ister mikroskopik olsun piritik kükürt kömür içerisinde bantlar ya da damarlar, merccekler, küresel tanecikler ya da ince tanecikler halinde türlü şekil ve biçimlerde dağılabilir. Bu tür kükürt kömürden serbestleştiği zaman flotasyon ya da diğer zenginleştirme yöntemleriyle temizlenebilir.

Organik kükürt

Organik kükürt, kömürün organik yapısıyla bağ oluşturmuş olan kükürt türüdür. Organik kükürt çeşitli kömürlerde, farklı miktarlarda bulunmakta ve toplam kükürdün % 20'si ile %80'i arasında değişmektedir. Ortalama olarak, toplam kükürdün % 50'sini oluşturan organik kükürdün, cevher hazırlama yöntemleriyle uzaklaştırılması olanaksızdır.

Kömürdeki organik kükürt içeriği, toplam kükürt içeriğinden piritik kükürt ve sülfat kükürdü içeriklerinin toplamının çıkarılması sonucunda bulunmaktadır. Kömürde bulunan organik kükürt türleri şu şekilde sınıflandırılmaktadır [6]:

- Alifatik veya aromatik tiyoller (merkaptanlar, tiyofenoller gibi):
R-S-H, Ar-S-H
- Alifatik, aromatik ya da karışık sülfürler:
R-S-R, Ar-S-Ar, R-S-Ar
- Alifatik, aromatik ya da karışık disülfürler:

R-S-S-R, Ar-S-S-Ar, R-S-S-Ar

- Tiyofen tipindeki heterohalkalı bileşikler
- γ -thiopiron tipindeki bileşikler

2.5.2. Kükürt giderme yöntemleri

Fiziksel kükürt giderme yöntemleri

Kömürün inorganik kısmının özgül ağırlığı 2-5 arasında değişmektedir. Kömürün organik kısmının özgül ağırlığı ise genelde 1-1,5 arasında değişmektedir. Genellikle kömür içinde çeşitli boyutlarda aglomerler oluşturan pritik kükürt, aglomerlerin tane iriliklerine bağlı olarak kırılıp küçük parçalara ayrılmış kömürden, flotasyon, santrifüjleme, pnömatik ayırıcılar veya basit çökeltim yöntemleri gibi fiziksel işlemler kullanılarak ayrılabilir.

Fiziksel ayırma yöntemleri, genellikle iri boyutlu inorganik kükürt bileşiklerinin ayırımında oldukça başarılı sonuçlar vermekte, 0,1 mm'den küçük tanelerin ayırımında ise başarısı azalmaktadır.

Biyolojik kükürt giderme yöntemleri

Son yıllarda pirit içerisindeki kükürdün, kükürt bakterileri (kükürt oksitleyici türler) tarafından oksitlenerek suda çözünebilen sülfatlara dönüştürülmesine dayanan biyolojik desülfürizasyon yöntemleri geliştirilmektedir. Demir ve kükürdü oksitleyen, *Thiobacillus ferrooxidans* ve *Ferrobacillus ferrooxidans* gibi bazı bakterilerin 4 ile 30 gün arasında değişen sürelerde, kömürdeki pritik kükürdün % 80'ini uzaklaştırdıkları belirtilmektedir.

Biyolojik yöntemlerin ticari olarak geliştirilmesinin uzun bir zaman alacağı tahmin edilmektedir. Burada, uzun bekleme süresi, ürün kararlılığı ve proses kontrolü, aşılması gereken önemli sorunlar olarak görülmektedir.

Kimyasal kükürt giderme yöntemleri

Bu yöntemler, kükürtlü bileşiklerin doğrudan tepkimeye girerek kömürden uzaklaştırılmasına veya kömürden kolayca uzaklaştırılabilecek bir yapıya dönüştürülmesine dayanmaktadır.

Piritik kükürdün gazlarla girdiği tepkimeler yönteminde kimyasal madde olarak sadece gazlar kullanılmakta ve gaz halindeki kükürt bileşikleri oluşmaktadır. Yine piritik kükürdün çözeltilerle girdiği tepkimeler sonucu yüksek dönüşümlerle piritik kükürt giderilebilmektedir.

Organik kükürdün girdiği tepkimeler sonucu çözünür hale gelebilen kükürt bileşikleri elde edilerek kimyasal kükürt giderimi yapılabilmektedir.

Diğer kükürt giderim yöntemleri

Kömürün yanması esnasında oluşan SO_2 'yi tutmak amacı ile yanma odasına SO_2 tutucu bir katkı maddesinin (adsorbent) eklenmesine dayanır. Katkı maddesi olarak kolay ve ucuz biçimde sağlanabilen kireç, kireç taşı ve dolomit tercih edilmektedir. Kireçtaşı veya dolomitin kullanıldığı bu SO_2 tutma uygulamalarında;

- Pulverize edilmiş kireç/kireçtaşı veya dolomit, kazanın SO_2 tutma yönünden uygun sıcaklık bölgesine kuru biçimde enjekte edilir,
- Kırılmış kireçtaşı veya dolomit adsorbent olarak yanma odasına beslenir.

Bu uygulamalar genelde orta kapasiteli yakma sistemlerinde uygulanmaktadır. Konut sektöründe, bireysel ve apartman ölçeğindeki ısıtma uygulamalarında kullanılan çok küçük kapasiteli soba ve kalorifer kazanlarında, kömüre çeşitli biçimlerde kireç/kireçtaşı ilave edilerek SO_2 tutulması güncel bir konudur. Kireç ilavesiyle yapılan biriktirme yöntemleriyle linyitteki kükürdün % 90'a varan oranda yanma odasında $CaSO_4$ biçiminde tutunabildiği belirtilmektedir [6].

2.6. Şlam Kömürü

Kömür hazırlamada, şlam terimi 0-0,5 mm boyut aralığındaki malzemeler için kullanılır. Şlam kömür, belirli kalori değerine sahip bir kömürdür. Tuğla ve kiremit işletmelerinde tüketilmeye uygun özelliktedir. Şlam kömüre talep gelmediğinden satılamamakta ve şlam havuzlarında bekletilmektedir. Şlam havuzları şlam kömürle dolup taşmakta ve işgal ettiği genişçe bir alanı da bataklığa dönüştürmektedir. Yer darlığı nedeniyle, yeni havuzlar açılamamaktadır. Terk edilmiş açık ocak çukurları bulunmadığından, şlam oralara pompalanarak ortadan kaldırılması olanağı bulunmamaktadır. Dolu havuzların boşaltılarak yeniden kullanılması hem yüksek ilave masraflar gerektirmekte, hem de, her mevsimde boşaltılması olanaklı değildir. Kısaca özetlemek gerekirse, lavvarın şlam kömür atma sorunu vardır ve bu sorun çözüm beklemektedir.

Şlam kömürlerin piyasaya satılabilmesi ve yarattığı çevre kirliliğinin önlenbilmesi için susuzlandırma bir çözüm olabilir. Susuzlandırma işlemiyle elde edilecek olan berrak, temiz suyun derelere verilmesi ve katıların ise, - ilerde belki satılabilir düşüncesi ile- stok sahasında biriktirilmesi olanağı doğacaktır. Bilindiği gibi, susuzlandırma veya katı/sıvı ayırımı yöntemleri kabaca iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar çöktürme ve filtrasyondur. Susuzlandırma, genellikle, bu iki yöntemin kombinasyonu ile yapılır [21].

2.7. Kömürün Kullanım Alanları

Ülkemizdeki linyit üretimi; Enerji Sektörü (Termik Santral), Sanayi Sektörü ve Isınma (teshin) Sektörü olmak üzere 3 ana sektörün taleplerinin karşılanmasına yöneliktir. 2007 yılı itibariyle, linyit üretiminin % 48'i TKİ, geri kalan ise EÜAŞ ve Özel sektör tarafından yapılmıştır. Linyit tüketiminde en büyük pay % 76 ile termik santrallere ait olup, bu oranlar sanayide % 10, ısınma sektöründe ise % 14'dür [22].

Enerji Sektörü (Termik Santral)

Kamuya ait linyit sahaları için yaratılan projelerin yıllık toplam tüvenan üretim kapasitesi 78,735 milyon ton'dur. TKİ'nin tüvenan bazda proje kapasitesi 46,150 milyon ton, satılabilir linyit bazında proje kapasitesi 41 milyon ton'dur. Bu satılabilir kapasitenin 34,035 milyon tonu 4209 MW kurulu gücündeki termik santrallere, 6,73 milyon tonu ise ısınma ve sanayi sektörüne yöneliktir.

Ayrıca, EÜAŞ Genel Müdürlüğü termik santrallere vermiş olduğu 23,5 milyon ton/yıl linyit miktarını, Elbistan Termik Santralı ilave ünitelerinin devreye girmesiyle 2010 yılından itibaren kademeli olarak arttırarak 40 milyon ton/yıl'a çıkarmayı programlamıştır. Türkiye'nin ekonomik yapılanmasında önemli bir olumsuzluk yaşanmaması durumunda linyitin enerji sektöründe payının % 30'un üzerine çıkması beklenmektedir.

Elektrik üretiminde maliyet açısından hidrolikten sonra ikinci sırada linyitin yer alması ayrıca son yıllarda yerli kaynak üretim ve kullanımına ağırlık verilmesi gelecek yıllarda linyitin elektrik üretimindeki payını arttıracığı izlenimini vermektedir.

Çimento Sektörü

Ülkemizde kurulu 60 çimento fabrikası, 2008 yılı değerleriyle 51,43 milyon ton çimento üretimi yapmıştır (TÇMB). Sektörde yakıt olarak; petrokok, ithal taşkömürü, ithal ve yerli linyit, az miktarda fuel-oil ve doğalgaz kullanılmakta olup, maliyetin % 30'unu yakıtlar oluşturmaktadır. Kullanılan petrokokun ısı değeri 7500 kcal/kg, ithal taşkömürün 6300 kcal/kg, yerli taşkömürün 6000 kcal/kg, yerli linyitin 3500-4500 kcal/kg'dır.

Sektörün yıllık yakıt ihtiyacı, 5000 kcal/kg ve % 3 kükürt içerikli kömür bazında 6,5 milyon tondur. Çimento fabrikalarında yakıtlar belli oranlarda karıştırılarak kullanılmakta, 2000 kalori ile 4500 kalori arasında da linyit kullanılabilir.

Şeker Sektörü

Ülkemizde, 21 adedi yakıt olarak kömür kullanan toplam 30 adet Şeker Fabrikası bulunmaktadır. Kömür kullanan fabrikalarda kalori değeri düşük (2200-3800 kcal/kg) ve yüksek (4000-4500 ve üzeri) olmak üzere iki sınıf kömür kullanılmaktadır. Bu fabrikaların yıllık linyit ihtiyaçları 900 bin ton civarındadır.

1,8 milyon ton/yıl üretim kapasitesine sahip şeker fabrikalarının 2000-2008 yılları arasında talebe bağlı olarak şeker üretimleri ortalama 1,2 milyon ton/yıl olmuştur. Önümüzdeki 2009-2013 yılları arasında da arz-talep dengesinin aynı şekilde devam edeceği, sektörde kullanılan linyit tüketiminde önemli bir değişiklik olmayacağı öngörülmektedir.

Toprak Sektörü

Ülkemizde 600'e yakın tuğla ve kiremit fabrikası olduğu, bunların büyük bir kısmının tuğla, bir kısmının da hem tuğla hem kiremit ürettiği bilinmektedir. Bunların üretim kapasitesi ise inşaat sektöründeki gelişmelere bağlı olarak artıp azalmaktadır. Türkiye'deki toprak sanayinde kullanılan yakıt 3000-4000 kcal/kg ısı değeri linyittir ve bir kaçı dışında pişirme fırınları buna göre dizayn edilmiştir. Ancak, hava kirliliğinin yoğun olduğu bazı büyük kentlerimizde doğalgaz kullanımına geçmeleri beklenmektedir. Linyit kullanım miktarı ise yıllara göre değişkenlik göstermekle birlikte yaklaşık 3 milyon ton/yıl'dır.

İnşaat sektöründe önümüzdeki yıllarda beklenen canlılığa paralel olarak tuğla ve kiremit fabrikalarının üretim kapasitelerini arttırmaları beklenmektedir. Sektörün istediği nitelikte kömürün hazırlanması halinde, bu sektördeki yerli linyit miktarının 4 milyon ton/yıl'a çıkacağı tahmin edilmektedir.

Isınma Sektörü

2003 yılında ülkemizin ısınma sektöründeki kömür ihtiyacı yaklaşık 14 milyon ton civarındadır. 2008 yılı itibari ile Ülkemizin yaklaşık 17 milyon ton kömür ihtiyacı olduğu görülmektedir. Bu kömür ihtiyacının yaklaşık yarısı ithalat yoluyla, yarısı ise TKİ ve diğer yerli kömür üreticileri tarafından karşılanmaktadır.

İlk olarak 1989 yılından başlayarak günümüze kadar hızla artan ithal kömür ve son yıllarda kullanım ve yayılım alanı artan doğalgaz nedeniyle ısınma sektöründeki linyitin payı gerilemiştir.

1988'den itibaren Ankara'da, 1992'den itibaren de İstanbul, Eskişehir, İzmit ve Bursa'da konutlarda ve sanayide kullanılmaya başlayan doğalgaz yayılım ve kullanımının hızla artacağı, 21 yerleşim yerinde ihaleyi kazanan şirketlere 6 lisans verildiği ve 11 yerleşim yerinde daha doğalgazın kullanılmaya başlanıldığı, 20 yerleşim yerinde ihale aşamasında olduğu, 22 yerleşim yerinde ise ihale çalışmalarının devam ettiği, 2012 yılından itibaren ise hemen hemen bütün illerimizde doğalgaz kullanımının başlayacağı göz önüne alındığında, kömür iyileştirilmesine ilişkin tesislerin sayısını ve kalitesini arttırarak, çevre kriterlerine uygun kömürlerin hazırlanması ve piyasa koşullarında yapılacak bir fiyatlandırma ile ithal kömürle rekabeti sürdürerek linyitin ısınma sektöründeki pazar payını koruyabilmesi olanaklı görülmektedir. Hatta, düşük kalorili kömürlerin ısınma sektöründe kullanılabilmesine ilişkin dumansız kazan ve soba teknolojilerinin geliştirilmesi ve Çevre Yönetmeliğinde yapılacak değişiklikle linyitin ısınma sektöründeki pazar payını arttırması beklenebilir.

Diğer

Orta ve küçük ölçekteki sanayi kuruluşlarının (tavuk, yağ, tekstil, tuz fabrikaları vb.) linyit ihtiyaçları, ülkenin büyüme hızına ve ekonomik gelişime paralel olarak artma eğilimi göstermektedir. Ancak, büyük şehirlerde kurulu bazı sanayi tesislerin çevre yönetmeliği nedeniyle doğalgaza geçme zorunluluğu da dikkate alınırsa 2015'li

yıllara kadar bu sektör kapsamındaki kuruluşların kömür taleplerinin 2,5-3 milyon ton aralığında devam etmesi beklenmektedir [22].

2.8. Kömürün Briketlenmesi

Türk linyitleri, kırılgan bir karaktere sahip olduğundan, üretim, hazırlama, taşıma ve depolama esnasında %30-40 oranında tozlaşmaktadır. Özellikle, uzun süreli depolamada, tozlaşma, nem kaybı ve oksidasyonun da etkisiyle, ocaktan tüketiciye ulaşıncaya dek, bu oran %60'a kadar çıkmaktadır. Toz-parça kömür karışımının, klasik ızgaralı yakma sistemlerinde yakılması halinde, toz kömürün tam bir yanmaya uğramadan hava ile sürüklenerek bacadan çıkması, hem çevre kirliliği yaratmakta, hem de yenilenemeyen bir enerji kaynağının kaybına yol açmaktadır. Bu tozların, oldukça iri taneli olanları ise ızgara aralarından düşerek küle karışmakta ve yanmadan sistemden uzaklaşmaktadır. Üretim tesislerinin yakınında stoklar oluşturan kömür tozlarının, toz kömür yakma sistemlerinin dışındaki yakma sistemlerinde de değerlendirilebilmesi için sunulan seçeneklerden en çok kabul göreni, kömür tozlarının briketlenerek, sağlam ve homojen bir yakıtı dönüştürülmesidir. Böylece, kömür taneciklerinin ızgara altına düşmesine veya baca gazları ile birlikte atmosfere sürüklenmesine engel olunacağından, hem kömür kaybı hem de yarattığı çevre kirliliği önlenecektir.

Briket hazırlama aşamalarında, kömür tozlarının belirli bir nem oranına kadar kurutulması, taşıma ve depolama masraflarını da azaltmaktadır. Ayrıca kömürün ısı değeri yükseldiğinden, yakıt değeri artarak, yakma sistemlerinde enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Linyitlerimizin toplam kükürt içeriği dünya ortalamasının çok üzerindedir. Linyitin yakılması sonucu oluşan kükürtdioksit, atmosferdeki en önemli kirleticilerden biridir. Kömür tozlarının briketlenmesi sırasında kullanılan bazı katkı maddeleri sayesinde, kömürün içerdiği kükürtlü bileşiklerin, yanma esnasında tutulması olanaklıdır.

Linyitlerin, hiçbir önışleme uğratılmaksızın, üretildikleri gibi tüketiciye sunulmaları doğru değildir. Toz haldeki kömürler; çimento ve seramik endüstrisinde, termik santrallerin pulverize yakma sistemlerinde enerji gereksinimi için değerlendirilebilmektedir. Ancak kükürt oksit emisyonlarının kontrol edilmesinde yaygın olarak kullanılan baca gazı temizleme sistemlerinin maliyeti, kömüre dayalı güç santrallerinin toplam donanım maliyeti içinde önemli bir paya sahiptir. Akışkan yataklı sistemlerde ise, kükürt oksitlerin tutulması amacıyla yakma ortamına beslenen sorbentlerin kalsine olarak aktif hale gelmesi için gerekli olan ısı, yakma ortamından çekildiğinden, enerji kaybı ortaya çıkmaktadır.

Linyitlerimizin, hem verimli ve çevreye daha az zarar verecek şekilde değerlendirilebilmesi, hem de tüketiciye yakma sistemine uygun bir yakıt halinde verilebilmesinde, briketleme yöntemi önemli bir yere sahiptir [25].

Çok nadir bulunan yüksek kalorili ve düşük kükürtlü kömürlerimizden olan Saracaova (Nazilli-Aydın) yöresi kömürleri oluşum şartları nedeniyle çok çabuk parçalanmakta ve tozlaşmaktadır. Bu olumsuz durumun giderilmesi için toz boyutlu Saracaova kömürlerinin briketlenme şartları araştırılarak sektörde pay bulabilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Saracaova toz kömürlerinin katkı maddeli (melas) briketlenme yöntemi ile istenilen sağlamlıkta briketler elde edilebileceği ortaya çıkmıştır [11].

2.8.1. Briketlemenin yararları

Briketleme; toz halindeki kömürün, uygun şartlarda ısıtılarak ve çeşitli katkı maddeleri ile karıştırılarak, bir kalıp içerisinde preslenmesi sonucu, küp, yastık, silindir veya yumurta gibi şekillerde, sağlam ve kaliteli bir yakıt haline dönüştürülmesi işlemidir. Kömürü briketlemenin yararları şöyle sıralanabilir:

- Yanma sırasında, kömürün ızgara altına düşmesini engellemek için gerekli tane büyüklüğünün sağlanması

- Kullanılan katkı maddeleri sayesinde, kömürün içerdiği kükürtlü bileşiklerin yanma esnasında tutulmasıyla, hava kirliliğinin önemli ölçüde azaltılması
- Kömür tozlarının, baca gazları ile sürüklenip atmosfere geçmesi önlenerek, hava kirliliğinin azaltılması
- Toz kömürün, stokta kendi kendine tutuşmasının önlenmesi
- Isıl değeri düşük, nem içeriği yüksek olan kömürler, briketleme öncesinde kurutularak ısı değerlerinin artırılması
- Belirli özelliklerde ve aynı kalitede yakıt üretilmesi
- Briketleme sayesinde, kömür hacmi azaltılarak, depolama ve nakliyatı tasarruf sağlanması
- Yığın içinde belirli porozite ve geçirgenliğin sağlanmasıdır.

2.8.2. Briketlemeye etki eden faktörler

Briketleme, basit bir işlem olmayıp, birçok faktörü içeren karmaşık bir süreçtir. Bu nedenle, işleme başlamadan önce, briketlenmesi amaçlanan kömürün iyi tanınması gerekmektedir.

Kömürün petrografik özellikleri

Kömür içinde bulunan ve dayanıksız olan bazı maseral grupları, basınç altında kolaylıkla dağılarak, kömürün son derece ince parçacıklar haline gelmesine neden olmaktadır.

Kömürün yapısal özellikleri

Kömürün plastik özelliği, katkı maddesiz briketleme açısından son derece önemlidir. Ayrıca, kömürün yapısında bulunan kimyasal gruplar ile kömüre karışan mineral maddeler de üretilen briketin sağlamlığını etkilemektedir. Kömürdeki, kum ve kil gibi yabancı maddeler, briketlemeyi zorlaştırmaktadır. Kil, suyla temas edince, suyu absorbe ederek şişmekte ve sonuçta, briketin mukavemetini azaltmaktadır.

Yumuşak linyitlerin briketlenme özellikleri çok daha iyidir. Ancak genellikle, yumuşak linyitlerin, kül içeriği yüksek ve kil içeriği ise fazladır. Bu da, briketlemenin etkinliğini azaltmaktadır. Kömürün uçucu madde içeriği %28'i geçince briketlerin dayanıklılığı azalmaktadır. Genellikle, üretilen briketin yoğunluğu yükseldikçe sağlamlığı da artmaktadır. Kullanılan kömürün cinsine bağlı olarak, briketin yoğunluğu 0,9-1,3 g/cm³ arasında değişmektedir.

Kömürün nem içeriği

Briketlenecek kömürün nem içeriği, kömürün cinsine ve seçilen presleme basıncına göre saptanan, optimum bir değerde olmalıdır. Nem içeriğinin %20'den yüksek olması halinde, presleme sırasında oluşan ısı, önemli ölçüde suyun buharlaşmasına harcadığından, üretilen briket kolayca dağılabilmektedir. Kömürün nem içeriğinin çok düşük olması halinde ise, briketleme sırasında sıcaklığın yükselmesi sonucunda, az miktardaki suyun hemen buhar haline geçmesi, hem katkı maddesinin bozulmasına hem de briketin parçalanmasına neden olmaktadır. Böylece her iki durumda da, sağlam olmayan briketler üretilmektedir. Katkı maddeli briketleme yönteminde, eğer sıvı katkı maddesi kullanılacaksa, katkı maddesinden kaynaklanan su miktarını da göz önüne almak gerekmektedir.

Kömürün mineral madde içeriği

Linyit kömürlerinin katkı maddesiz briketlenebilmesi için, mineral madde içeriğinin %8'den fazla olmaması gerekmektedir. Kömürün mineral madde içeriğinin artması, presleme esnasında, sürtünmenin etkisiyle, sıcaklığın gerekenden fazla yükselmesine ve bitümlerin yüksek sıcaklıkta bozularak (parçalanarak) briketin dayanıklılığının azalmasına neden olmaktadır.

Kömürün tanecik boyutu

Kömürün tanecik boyutu küçüldükçe, serbest yüzey enerjisi arttığından, üretilen briketler daha dayanıklı olmaktadır. Briketlemede, iri taneciklerin presleme sırasında

kırılması, briket içinde zayıf noktalar oluşturmaktadır. Bu nedenle, kırma ve öğütme masrafları daha yüksek olmasına rağmen, briketlemede küçük tanecik boyutlu kömür kullanımı tercih edilmektedir. Briketlenecek kömürün cinsine göre 0 ile 6 mm arasında bir tanecik boyutuna öğütülmesi gerekmektedir.

Presleme basıncı ve süresi

Basınç, kömür taneleri arasındaki uzaklığı azaltarak birbirlerine yaklaşmalarını sağlamakta ve tanecik yüzeylerinin temas oranını artırmaktadır. Presleme basıncı optimum değerde seçilmelidir. Briketleme basıncı yükseldikçe, elastik deformasyon sonucu, briketlerin sağlamlığı artmaktadır; ancak basınç belli bir değerin üzerine çıktığında ise plastik deformasyonun geri dönüşlü olması nedeniyle, briketlerin birden genişmesi, çatlaklar oluşturarak sağlamlığı azaltmaktadır.

Briketlemede, presleme basıncı kadar, preste kalma süresi de briketin sağlamlığına etki etmektedir. Briketlerin, tekrar genişmeyecek şekilde, sağlam bir hale gelebilmesi için preslemede belirli bir süreye ihtiyaç vardır; bu süre 10 ile 20 saniye arasında değişmektedir ve kullanılan presin cinsi ile yakından ilgilidir.

Briketleme sıcaklığı

Presleme sıcaklığı arttıkça, taneleri birbirine bağlayan kuvvetler daha aktif hale geldiğinden, briketin sağlamlığı da artmaktadır. Presleme sıcaklığı, kömürün nem içeriğine bağlıdır. Nem içeriği yükseldikçe, optimum sıcaklık da düşmektedir.

Tunçbilek linyit tozlarından bağlayıcı olarak amonyum nitrohumat (a.n.h.) ilave edilerek elde edilen briketlerin ısı işlem sonucu suya dayanıklılığı ve mekanik sağlamlıkları incelenmiştir. Bu test sonuçlarından 165°C sıcaklıkta 60 dakika süre ile ısıtmanın yeterli olacağı görülmüştür. Isıl işlem ile briketin bünyesindeki nemi uzaklaştırılarak net kalorifik değerin yükseltilmesinden başka kömür tanecikleri briket içinde birbirine sağlam bir şekilde bağlanmaktadır. Bağlayıcı çözelti halinde olduğu için basınç altında taneciklerin yarık ve çatlaklarına girmekte ısı işlem ile

bağlayıcının alkali kısmı (amonyak kökü) briket bünyesini terk ederken, humat kısmı briket bünyesinde katılaşıp kalmaktadır. Bunun sonucu olarak da briket bünyesinde neme dayanımı iyi, tanecikler arasında muhtemelen bir tür polimerizasyon sağlanarak mekanik olarak sağlam bir yapı oluşturmaktadır [10].

Briketin şekli ve ağırlığı

Briketin şekli, yapıldığı kalıbın biçiminden ibarettir. Köşeli şekillerde, briketlerin sürtünme ile ufalanma olasılığı daha fazla olduğundan, genel olarak silindir, yumurta ya da yastık şekillerindeki briketler tercih edilmektedir.

Katkı maddesinin özelliği

Katkı maddeli briketleme yönteminde, katkı maddesinin özellikleri ile kömüre katılma oranı, briket sağlamlığına etki eden en önemli parametrelerdir. Katkı maddesi genellikle kömürden daha pahalı olduğundan, kullanılacak optimum katkı maddesi miktarı öncelikle saptanmalıdır.

Briketlerin gözenekliliği

Gözeneklilik, briketin hem sağlamlığını hem de yanma özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir. Gözeneklilik, iyi sıkıştırılan sağlam briketlerde, sıkıştırılmamış zayıf briketlere oranla daha azdır.

Kömürün kurutulma şartları

Katkı maddesiz briketlemede, kömürün kurutulma şartları önemlidir. Yapılan çalışmalar, kömürün buhar ile kurutulmasında, daha yavaş ve homojen bir kurutma sağlandığından, kurutulan kömürlerin oldukça sağlam briketler verdiğini göstermiştir.

Isıl işlem

Katkı maddeli briketleme yönteminde, özellikle bağlayıcı olarak, sülfite likörü ya da melas kullanıldığında, elde edilen briketlere ısı işlem uygulanması, suya dayanıklılıklarını artırmaktadır.

Briket yüzeyinin kaplanması

Katkı maddesiz üretilen briketlerin, suda mukavemetlerini artırmak amacıyla, briketlerin yüzeylerinin hidrofor bir madde ile kaplanması sağlanmaktadır. Briket yüzeyinin kuruyana kadar, yapışkan özellikte olması ve kurutulmasının uzun sürmesi bakımından endüstriyel çapta geniş bir uygulama bulamamıştır.

2.8.3. Briketleme yöntemleri

Yumuşak linyitler grubuna giren Orta Avrupa kömürleri, katkı maddesiz olarak kolaylıkla briketlenebildiği halde, sert kömürler olarak gruplandırılan ülkemiz kömürleri, genellikle bir katkı maddesi ilavesi ile briketlenebilmektedir. Briketleme genel anlamda, katkı maddeli ve katkı maddesiz briketleme olarak iki gruba ayrılabilir.

Katkı maddesiz briketleme

Bir kömürün katkı maddesiz briketlenebilmesi için;

- Yumuşak türden kömür olması
- Plastik özellik göstermesi
- Sıkıştırma sırasında sertlik kazanmaması
- Sıkıştırma sırasında fazla iç sürtünme göstermemesi
- Olanak olduğu kadar homojen bir yapıya ve bileşime sahip olması gerekmektedir.

Katkı maddesiz briketleme, klasik yöntem ve sıcak briketleme yöntemi olmak üzere iki yöntemle yapılabilir. Bazı durumlarda kömüre plastiklik özelliğini kazandırmak için katkı maddesiz sıcak briketleme de uygulanabilir. Bitümlü kömürlerin sıcak yöntemle briketlenmesi 1927'den beri bilinmektedir. Daha sonra yapılan deneyler altbitümlü kömürler gibi koklaşma özelliği zayıf olan kömürlerin de önceden 380-450°C'ye kadar ısıtılarak plastik duruma getirilip aynı sıcaklıktaki pres kalıbı içinde briketlenmesinin olanaklı olduğunu göstermiştir. Linyit normal koşullar altında ısıtılmakla herhangi bir plastisite göstermediğinden ya da plastiklik sınırının dar olmasından dolayı bu yönteme uygun değildir [17].

Katkı maddesiz briketlemenin aşamaları; kırma ve öğütme, kurutma, briketleme sıcaklığı ve son olarak presleme kademelerinden geçerek kömür briketlenir [25].

Katkı maddeli briketleme

Katkı maddeli briketleme yöntemi, sert kömürlerin uygun bir katkı maddesi kullanılarak briketlenmesidir.

Büyük çoğunluğu, yüksek mineral madde içerikli, kömürleşme derecesi ilerlemiş ülkemiz linyitlerinin büyük bir bölümü ancak bir katkı maddesi yardımıyla briketlenebilmektedir. Briketlerin suda mukavemet sağlamaları amacı ile katkı maddesi ilave edilmelidir. Katkı maddeli briketleme teknolojisinin sunduğu diğer bir avantaj, kömürün yanması sonucunda açığa çıkan zararlı kükürt oksitlerin, kireç ve benzeri katkı maddeleri ile kömür külünde tutulmasına imkan tanınmasıdır. Yeterli sağlamlıkta briketler elde edebilmek için, şartlara bağlı olarak, %3-12 arasında değişen oranlarda katkı maddesi kullanılmaktadır.

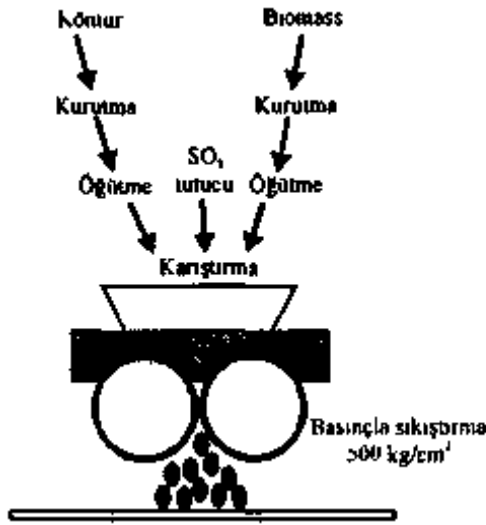
Katkı maddeli briketleme yöntemi, genel olarak; kömürün kırılması, öğütülmesi, kurutulması, uygun katkı maddesi ile karıştırılması, briketlenecek karışımın temperlenmesi, preslere beslenerek briketlenmesi ve elde edilen briketlerin dinlendirilmesi aşamalarını içermektedir.

Kaliteli bir briket üretimi için, öğütülmüş kömür tozlarının, gerek katı gerekse sıvı katkı maddeleri ile tek ya da çift yöne hareket edebilen karıştırıcılar yardımıyla iyice karıştırılarak, homojen bir karışım haline getirilmesi gerekmektedir. Genelde, 6-8 dakika olarak kabul edilen bu süre aşılsa karışım, plastik özelliğini kaybeder.

Günümüzde, endüstride en çok kullanılan presler, çift merdaneli preslerdir. Çift merdaneli preslerde, karışım eşit çaptaki birbirine göre zıt yönde, senkronize hızdaki, dişli donanım sayesinde dönen merdanelerin yüzeyindeki yuvalara beslenir. Merdanelerin dönmesi sonucu, 16 ile 80 gram arasında değişen, yastık ya da yumurta şeklinde preslenmiş briketler haline getirilmektedir. Çift merdaneli pres, 500 kg/cm^2 gibi düşük basınçlarda, katkı maddeli briketlemede kullanım amacı ile planlanmıştır. Son zamanlarda, çift merdaneli preslere kazandırılan hidrolik ve elektronik donanımlar ile briketleme basıncı kontrol altında tutulabilmektedir.

Katkı maddeli briketleme ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda, briketlerin suya dayanım özellikleri için ortaya atılan öneriler su geçirmez torbaları kullanmak olmuştur. Yeni bir bağlayıcı olan co-polimer (Mowilith-VDM®) türü bağlayıcı ile suya dayanıklı briket üretilebilirliği araştırılmıştır. Co-polimer (Mowilith-VDM®) maddesinin pahalı olması bir dezavantaj olmuştur [7].

Linyitlerimizin %68'i düşük ısı değere sahip olup, ısı değerleri 2000 kcal/kg ' ın altındadır ve yüksek kükürt içeriğine sahiptir. Linyitlerimizin ithal linyitlerle belli oranlarda karıştırılarak briket üretildiğinde TSE kalitesini sağlayacağı ve evlerde soba ve kalorifer yakıtı olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Briketleme, toz kömürün veya kırıcılardan ve eleklerden geçirilerek belli bir boyut altına indirgenmiş kömür tozunun bir veya birden fazla bağlayıcı ilavesi ile elde edilen karışımın uygun kalıplara dökülerek maksimum 2 ton/cm^2 'lik bir basınçla sıkıştırılması ile üretilmektedir. Katı taneciklerin birbirleri ile kenetlenmesinde basıncın etkisi önemli olduğu için peletlemede olduğu gibi çok ince tane boyutuna gerek yoktur. Presten çıkan briketler kurutma işleminden sonra yeterli sağlamlığa erişilebilmektedir. Kömür briketlemede yapılan işlemler şematik olarak Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Kömür briketleme işlemleri [8]

1980'li yıllardan sonra da Çevre kanun ve yönetmeliklerinde getirilen sınırlamalar ile petrol bazlı katkı maddelerinin kullanımı minimuma indirilmiştir. Yeni arayışlara başlanarak birçok deneme sonunda Tal Yağı (Talloil), selüloz xanthate, selüloz hidroksi asetat, melas, bitkisel protein nişasta gibi organik kökenli bağlayıcılar ile inorganik bağlayıcılar geliştirilmiştir [8].

Kömür briketlemede kullanılan katkı maddeleri

Briketin dayanıklılığının ve kalitesinin artırılması amacıyla kullanılan katkı maddelerinin, sert kömürlerin gözenekliliği ile yoğunluğuna uygun olması gereklidir. Bu katkı maddelerinin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- Bağlama özelliğinin iyi olması
- Öğütülmüş kömür içerisinde homojen bir şekilde dağılabilmesi
- Suda çözünmemesi
- Briketlenecek kömür ile uygunluğu
- Düşük sıcaklıkta çabuk tutuşabilmesi ve kolaylıkla yanabilmesi
- Yanma sırasında sertleşerek briketin bütünlüğünü koruması

- Isıl değerinin, briketlenecek kömürün ısıl değerinden daha d       olmaması tercih edilir
- Kokusuz yanması
- Yanma sırasında   vreye ve insan sağlığına zarar verecek bileşiklerin oluşmaması
- Ucuz ve kolay bulunması

Briketleme işleminde kullanılan katkı maddelerini organik ve inorganik olmak üzere başlıca iki gruba ayırabiliriz.

Organik bağlayıcılar

Bu gruptaki katkı maddeleri hidrofob ve hidrofil olmak üzere sınıflandırılabilir. Hidrofob katkı maddeleri; çok sert ve suya dayanıklı briket yapımında kullanılan, kömür zifti ve katranı, petrol bitümü ve asfaltı, odun katranı, doğal ve sentetik reçineler gibi, ancak ısı etkisi ile akıcı hale getirilebilen katkı maddeleridir. Bu tip katkı maddeleri, suya kar  şı dayanıklı briketler oluşturduğu halde, yanma sırasında hava kirliliğine neden olduklarından ve insan sağlığına zararlı etkileri görüldüğünden, kullanılmaları birçok ülkede yasaklanmıştır.

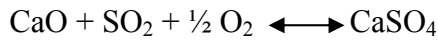
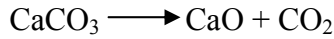
Hidrofil katkı maddeleri kullanılarak üretilen briketler, suya kar  şı fazla dayanıklı olmamalarına kar  şın, yandıklarında daha az hava kirliliğine neden olurlar. Bu briketlerin suya kar  şı dayanıklılıkları, briketlemeyi takiben, 200-300   C civarında yapılan bir ısı işlemi ile artırılabilir. Nişasta, s  lf  t likörü, tarımsal atıklar, melas, tala  , zeytin küspesi en çok kullanılan hidrofil katkı maddeleridir.

Bağlayıcı olarak kullanılan s  lf  t atık     ltisindeki maddelerin kısmen kokla  tırılıp suda       mez   ekle dönüştürülerek briketlerin suya kar  şı dayanımlarının artırılması amacı ile % 4-14 arasında değişen oranlarda bağlayıcı içeren briketlere 280 – 360   C arasında değişen sıcaklıklarda ısı işlem uygulanır (retortlanır) [18].

İnorganik bağlayıcılar

Organik bağlayıcılara göre daha ekonomik oldukları halde, briketteki kül miktarını artırma ve hava koşullarından kolay etkilenme gibi olumsuzlukları vardır. Suda çözünmeyen inorganik bağlayıcılar; çimento, kil, kireç, magnezyum oksit, jips; suda çözünenler ise; sodyum ve diğer alkalilerin silikatlarıdır.

Kireç taşları (CaCO_3), kimyasal yapıları gereği, karbonat oldukları için, karbonat kayaçları olarak da isimlendirilir. Kükürtlü bileşikler tutma amacıyla en yaygın olarak kullanılan sorbentler, doğal kireç taşları ve dolomitlerdir. Kireç taşı ve dolomit, ısı etkisiyle hızla kalsine olurlar. Kireç taşının ayrışması sonucu kalsiyum oksit (CaO) ve karbondioksit (CO_2) oluşur. Dolomit ise iki aşamada kalsine olur. Ortamın kısmi basıncına bağlı olarak ya $\text{MgO} \cdot \text{CaO}$ (kalsine dolomit) veya $\text{MgO} \cdot \text{CaCO}_3$ (yarı kalsine dolomit) oluşur. Kükürtdioksitin, kireç taşı ve dolomit ile girdiği tepkimenin iki kademeli olduğu kabul edilmektedir. Birinci kademe, kalsiyum karbonatın (CaCO_3) hızla ayrışması, ikincisi ise sülfotasyon aşamasıdır.



Dolomitin içerdiği CaCO_3 'ın kalsiyum sülfata (CaSO_4) dönüşme oranı, kireç taşına oranla daha yüksektir; fakat, içerdiği magnezyum, hem kütleli açıdan beslenmesi gereken ve hem de atık sorbent miktarını artırdığı için kireç taşı kullanımı daha ekonomiktir [25].

2.8.4. Kömür briketinde aranan özellikler

Ülkemizde üretilen kömür briketleri için 1996 yılında, Türk Standartları Enstitüsü tarafından, katı fosil yakıtlardan, ısınma amacı ile soba ve kalorifer kazanlarında kullanılmak üzere, katkı maddeli veya katkısız olarak üretilen briketleri kapsayan bir

standart (TS 12055, 1996) hazırlanmıştır. Bu standarda göre, kömür briketlerinin sahip olması gereken fiziksel ve kimyasal özellikler, Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kömür briketlerinin sahip olması gereken fiziksel ve kimyasal özellikler (TS12055, 1996)

Özellik		Sınıf 1	Sınıf 2
Alt ısı değeri ¹⁾ (kcal/kg), en az		5000	4000
Baca gazına geçen kükürt oranı (%), m/m, en fazla		0,8	1,0
Düşme sağlamlığı (%) m/m, en az		90	80
Aşınma sağlamlığı (%) m/m, en az		75	65
Kırılma sağlamlığı	Yastık veya yumurta şeklindeki briketlerde (kgf), en az	80	60
	Tabanı düzgün geometrik şekilli briketlerde (kg/cm ²), en az	130	100
Suya dayanım ²⁾ (%), en az		70	70
Isıl verimi (%), en az		75	75
Duman emisyon oranı (g/kg), en fazla		8	12
1) Bu özellik, orijinal (satışa sunulan) biket bazındadır. 2) Su geçirmeyen torbalar içerisinde satılan briketlerde bu özellik aranmaz.			

Briketlerin mekanik sağlamlığı

Sağlamlık; briketlerin, yükleme, boşaltma, taşıma ve depolama gibi işlemler sırasında, kırılma ve ufalanmaya karşı gösterecekleri direncin bir ölçüsüdür. Briketlerin sağlamlığını ölçmek amacı ile; düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı, aşınma sağlamlığı ve suya dayanım testi uygulanmaktadır.

Düşme sağlamlığı

Bu test, briketlerin yüksek bir yerden boşaltılacağı durumlar için, kırılmaya karşı göstereceği direnci göreceli olarak ölçmektedir.

Kırılma sağlamlığı

Bu test, briketlerin, taşınma ve depolanma sırasında yük altında kaldıklarında, kırılmaya karşı gösterecekleri direnci ölçmektedir. Test, briketin paralel iki levha arasında sıkıştırılarak kırılması suretiyle yapılmaktadır.

Aşınma sağlamlığı

Briketlerin, üretim yerlerinden tüketim aşamasına kadar çeşitli işlemler sırasında ufalanmasının ölçümü, tambur testi ile yapılmaktadır. Tamburlar, birçok ülkede ASTM ve ISO standardına uygun şekilde geliştirilmiştir.

Briketlerin suya dayanımı

Briketlerin fazla su emmesi, yanma özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Briketlerin suya dayanıklılıkları az ise, torbalar içinde pazarlanması veya kapalı yerlerde dikkatle korunması gereklidir [25].

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tosun (2007) temiz yakıt üretimine yönelik magnezya bağlı kömür briketi üzerine çalışmalar yapmış ve Tunçbilek linyitini soğuk ve sıcak briketleme yöntemleri ile briketlemiştir. İnce kömürden üretilen soğuk bağlayıcılı briketler çevresel olarak zararsızdır ancak bu briketlerin kül içerikleri belirli bir derecede yükselir, ısı içerikleri ise belirli bir ölçüde düşer. Manyezit bağlayıcı ilavesi briketlere %9 magnezya sağlamıştır ve bu briketlerde %83 kükürt tutma verimi elde etmiştir. Aynı oranda alçıtaşı ilavesi ile kükürt tutma veriminin %11'lerde kaldığını görmüştür. Sülfite likör-manezite karışımı bağlayıcının, briketle %4,5 magnezya sağladığını; sülfite likör-kireç karışımı bağlayıcının, briketle %3,5 kireç sağladığını belirlemiştir. Manyezite-sülfite likör karışımı bağlayıcılı briket, yüksek ısı değerlerinde kükürt tutmaya elverişli, özellikle düşük dereceli ve yüksek kükürtlü linyitlerin briketlenmesinde avantajlı olduğunu söylemiştir [15].

Kim ve ark. (1997) kömür briketinin yanması esnasında kükürt giderimini ve bunun çevreye olan etkisini incelemiştir. Küçük fabrika ve işletmelerde, yüksek kükürtlü (%3-5) kömür kullanımının kontrol altına alınması ve çevresel etkilerini azaltmak için kömür briketinin yanmasını incelemiştir. Bunun yanında kireç taşı ve söndürülmüş kireç ilavesinin etkilerini belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda kireç taşı ve söndürülmüş kireç ilaveli briketlerin yanması sonucu %70 ve %80 kükürt giderme verimi elde etmişlerdir. Kömürün içindeki kükürdün çoğunun CaSO_4 'e dönüştüğünü belirtmişlerdir [14].

Zhang ve ark. (2001) linyit briketinin hazırlanmasında kullanılan biyokütle bağlayıcısı üzerine yapılan değişik uygulamaların etkilerini araştırmışlardır. Pirinç kamışı ile sodyum hidroksit, kireç ve sülfürik asitin muamele edilerek linyit briketleme çalışmasında bağlayıcı olarak kullanımını incelemişler ve linyit olarak Pingzhuang kömürünü kullanmışlardır. Sülfürik asit haricindeki iki kimyasalın kullanılabileceğini söylemişler, aynı zamanda briketlerin dayanıklılığını artırmak için, içine bentonit, kömür katranı ve/veya polipropilen amid katmışlardır. Bu maddeler briketlere hidrofobik (suyu iten) bir özellik kazandırmıştır. Elde edilen

briketlerin dayanıklı olduğunu ve endüstriyel kazanlarda kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Atık kağıt hamuru bağlayıcısı ile hazırlanan briketlerin basınç dayanımlarını 2,50-2,94 MPa olarak bulmuşlardır.) [12].

Chen ve ark. (1997) kömür briketinde bulunan kükürdün kireç taşı ile tutulması için bir modelleme yapmışlardır. Kükürtdioksitin tutulmasının modelini, kireçtaşının kalsinasyonu ile sülfatın oluşması, SO_2 'nin kül tabakasına difüzyonu ve bunun briket yüzeyine yayılması sırasında yapmışlardır. Kükürt tutmaya etkisi olan ısıtma hızı, briket boyutu, kalsiyumun kükürde oranı (Ca/S) ve kömürün uçucu maddesini tahmin etmeye çalışmışlardır. Piritik kükürdün yükselmesi ile külde kalan kükürdün artış gösterdiğini bulmuşlar ve külde kalan kükürtte Ca/S oranının 2'den yüksek olduğu ve hızlı yanmanın olduğu zamanlarda %90'dan yüksek tutulma verimi elde etmişlerdir. Briketin yanması esnasında kükürdün tutulması için yüksek dereceli ve düşük organik kükürt içeren kömürlerin modelleme için daha uygun olduğunu düşünmüşlerdir [9].

Altun ve ark. (2004) kömür briketinin boyutunun yanma kinetiği üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu etkiyi iki farklı yaklaşım ile incelemişlerdir. İlki, artan briket boyutu yani hacim genişlemesi ile yapılan deneyler; ikincisi, briket hacmini sabit tutarak, değişen boyutlarda yapılan yanma kinetiği deneyleridir. Her deney için aktivasyon enerjisi ve Arrhenius sabitini hesaplamışlar ve bu değerlerin sabit hacimde farklı boyutlardaki kömür briketleri için değişimler gösterdiğini belirtmişlerdir. Briketlerin uzunluklarının çaplarına oranının 2'ye yaklaşması ($L/D \cong 2$), yanmanın zorlaşmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir [24].

Beker (1997) Türkiye'nin Afşin-Elbistan linyitlerinin farklı atık maddeler kullanarak briketlenmesine yönelik çalışmalar yapmıştır. Nemin briket dayanıklılığına etkisini incelemek amacıyla, bağlayıcı malzeme olmadan dört farklı basınçta (400, 550, 700 ve 800 MPa) deneyler yapmıştır. Linyit örneklerinin bağlayıcı malzeme olmadan briketlenmesi su direnci düşük (su içinde 10 dakikada eriyen) briketler elde etmesine neden olduğunu görmüştür. Optimum nem içeriği ve briketleme basıncını; %15 ve 550 MPa olarak elde etmiştir. Bu optimum koşullarda farklı oranlarda bağlayıcı

maddeler (kağıt fabrikası atığı, ayçiçeği kabuğu, talaş ve bira fabrikası atığı) kullanarak, yüksek kalori değerine sahip ve yüksek kalitede briketleri talaş (%20) ve kağıt fabrikası atığı bağlayıcılarını ekleyerek elde etmiştir. Bu briketlerin suya atıldıktan sonra erimeye başlama süresini 40 dakika olarak bulmuştur [20].

Beker ve ark. (1998) düşük kaliteli Afşin-Elbistan linyitinin, yüksek kalitedeki Sibiry bitümlü kömürüyle karıştırarak optimum briketleme koşullarında, bağlayıcılı ve bağlayıcısız olarak briketlenmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. %30, 40 ve 50 bitümlü kömür içeren linyit-bitümlü kömür karışımını, 566 MPa ve 708 MPa basınçlarında briketlemiştir. Ayrıca bu briketlere dayanıklılığı artırmak amacıyla ayçiçeği kabuğu, talaş ve melas gibi katkı maddeleri ilave etmişlerdir. Bitümlü kömür ilavesinin, briketlerin dayanıklılığına negatif bir etki yarattığını görmüşlerdir. Ancak bitümlü kömürle birlikte katkı maddelerinin de eklenmesi, briketlerin kükürt ve kül oranlarında düşüş, kalorifik (ısı) değerlerinde artış gösterdiğini belirtmişlerdir. %15 neme, %3,7 kükürde ve %27,4 küle sahip olan Afşin-Elbistan linyitini, bitümlü kömür ve katkı maddeleri ilavesiyle briketlendikten sonra, %0,63 kükürt, %5,6 kül içeriklerine indirmeyi başarmışlardır. Bu briketlerin suya çok dayanıklı olmadıklarını, 20 dakikada suda eridiklerini söylemişlerdir [19].

Yıldırım ve ark. (1997) Elbistan linyitinden amonyum nitrohumat üretimini ve bunun Tunçbilek linyit tozlarının briketlenmesinde bağlayıcı olarak kullanımını araştırmışlardır. Optimum koşullarda briketleme sonucu (4,60 mm'den küçük kömür tozu, %10,5 nem, ağırlıkça %7,0 amonyum nitrohumat, 125 MPa briketleme basıncı) 20 saat suda dağılmayan briketler elde etmişlerdir. Amonyum humatları, amid ve nitril bileşiklerine dönüştürmek için elde ettikleri briketleri 165°C'de 60 dakika ısıtmışlar ve böylece briketlerin suya dayanımını sağlayarak mekanik gücünü artırmışlardır [16].

4. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, Tunçbilek linyitlerinin briketlenmesi ve yanma esnasında kükürdün külde tutulması yapılmıştır. İlk aşama olarak lavvar çıkışı 0,5-10 mm boyutunda temiz kömür ve lavvar atığı olan ve hiçbir yerde kullanılmayan şlam alınarak bunlar belirli oranlarda dolomit ve melas kullanılarak briket kömür haline getirilmiştir. Elde edilen briketlerin kısa analizleri yapılmıştır. İkinci aşama olarak bu briketler sobada yakılarak kükürt tutulma verimleri karşılaştırılmıştır. Üçüncü aşamada ise briketlerin dayanıklılık analizleri yapılmıştır.

4.1. Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar

Deneysel çalışmalarda kullanılan çeşitli kimyasallar ve cihazlar Bölüm 4.1.1 ve 4.1.2’de verilmiştir.

4.1.1. Kullanılan kimyasallar

Deneysel çalışmalarda,

- Tunçbilek linyiti (0,5-10 mm boyutunda),
- Şlam (0,1-0,5 mm boyutunda),
- Briketleme aşamasında söndürülmüş toz kireç (Barkisan),
- Briketleme işleminde bağlayıcı olarak melas (Kütahya Şeker Fabrikası ürünü) kullanılmıştır.

4.1.2. Kullanılan cihazlar

- Briket yapımı için Hermeksan marka Briket makinesi,
- Yakma deneyleri için Ercan marka tuğlalı soba,
- Yakma deneyleri için kullanılan küçük LPG tüpü,
- Gerekli tartımların yapılması amacıyla Kern, Metler, Precisa, Eltra marka teraziler,

- Kömürlerin nem analizi için Elektromag marka Etüv,
- Kömürlerin 0,2 mm'ye öğütülebilmesi için Retsch marka öğütücü (değirmen),
- Kömürlerin kalori analizleri için Leco marka AC 350 Kalorimetre,
- Kömürlerin kükürt analizleri için Leco marka SC 144 DR kükürt cihazı,
- Kömürlerin kül, uçucu madde analizleri için Leco marka TGA 701 cihazı,
- Kömürlerin karbon, hidrojen, kükürt analizleri için Eltra marka CHS 500 elementel analiz cihazı,
- Dayanıklılık testleri için Besmak marka Tambur ve Sans marka paralel iki levhali pres cihazları,
- Düşme ve aşınma testleri için elekler kullanılmıştır.

4.2. Deneysel Yöntem

Deneysel çalışmada kullanılan yöntemler;

4.2.1. Tunçbilek linyitlerinin briketlenmesi

Her deney için 45 kg Tunçbilek linyiti (0,5-10 mm), 4,5 kg melas ve farklı oranlarda şlam ve dolomit kullanılarak 10 adet deney yapılmıştır.

İlk olarak briket makinesinin karıştırıcı haznesine 45 kg kömür, 27,85 kg şlam ve 4,18 kg dolomit koyularak yaklaşık 15 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra 4,5 kg melas (kömürün kütlece %10'u kadardır ve 0,72 g/ml yoğunluğa sahiptir) ısıtılarak koyu kahverengi alan akıcı bir kıvama ulaşır ulaşmaz kömür, şlam, dolomit karışımının üzerine dökülmüş ve karıştırılmıştır. Yaklaşık 5 dakika da bu şekilde karıştıktan sonra, karıştırıcı haznenin briketleme kısmına açılan kapağı açılarak karışımın bu bölüme kendiliğinden akması sağlanmıştır. Basıncı tam olarak belli olmayan bir sıkıştırma sağlanarak düzgün briketler elde edilene kadar alt kısımda yumurta şeklindeki briketler geniş tepsilere alınmıştır. Kısa analiz için 100 g numune (yaklaşık 6-8 adet briket) alınarak geriye kalan kısım 1 gün havada kurutularak çuvallara doldurulmuştur.



Resim 4.1. Briket makinesi ve elde edilen briketler

Bölüm 5.1’de bahsedilen istatistiksel deneysel tasarım yöntemi kullanılarak sabit 45 kg Tunçbilek linyiti ve 4,5 kg melas alınarak %34,14 şlam + %5,12 dolomit, %34,14 şlam + %0,88 dolomit, %5,86 şlam + %5,12 dolomit, %5,86 şlam + %0,88 dolomit, %20 şlam + %6 dolomit, %20 şlam + %0 dolomit, %40 şlam + %3 dolomit, %0 şlam + %3 dolomit, %20şlam + %3 dolomit, %20 şlam + %3 dolomit olacak şekilde karışım oranları değiştirilerek 10 deney için briketler yapılmıştır.

4.2.2. Briket kömürlere ve orijinal kömürlere uygulanan analizler

İlk olarak briketlerde kullanılan 0,5-10 mm kömürden ve 0,1-0,5 mm şlamdan, daha sonra elde edilen briketlerden 100’er gram alınarak toplam nemi belirlenmiştir. Nem tayini TS 690 Metot C standardına göre 105 derecelik etüvde 2,5 saat kurutularak yapılmıştır. Nemi alınmış numuneler öğütücü değirmende 0,2 mm boyutuna getirilmiştir. Öğütülmüş numunelerin ASTM D 4239 standardına göre SC 144 DR cihazında toplam kükürt, külde kalan kükürt ve yanıcı kükürt analizleri, ASTM D 5865 standardına göre AC 350 bombalı kalorimetre cihazı ile üst ısıl ve alt ısıl analizi, ASTM D 5142 standardına göre TGA 701 cihazında kül ve uçucu madde

analizleri yapılmıştır. Burada yapılan külde kükürt analizi için kül TGA cihazında yakılan kömürün külüdür ve külde kükürt tutma verimi buradan elde edilen sonuçlardan bulunmuştur [5,26,30,31].

4.2.3. Briketlerin sobada yanma deneyleri

Briketlerden bir miktar alınarak kovasız tuğlalı bir sobada yakma deneyleri yapılmıştır. Briketlerin tutuşması için küçük bir LPG tüpü kullanılmıştır. Briketler tamamen yandıktan sonra külleri ızgaranın altından alınarak SC 144 DR kükürt cihazında külde kükürt analizi yapılmıştır. Buradan da sobada yakma deneyi sonucu külde kükürt tutulma verimleri belirlenmiştir.

4.2.4. Briketlerin dayanıklılık analizleri

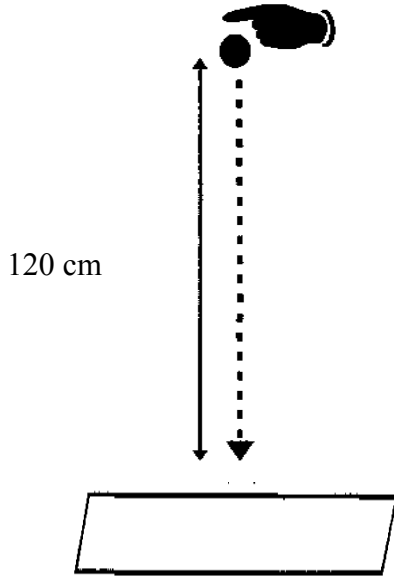
Tunçbilek linyiti ve şlamı bir araya getirerek elde edilen briketlerin dayanıklılık testleri TS 12055 Kömür Briketi standardına göre yapılmıştır. Dayanıklılık analizleri için aşağıdaki testler uygulanmıştır.

- a) Düşme Sağlamlığı
- b) Aşınma Sağlamlığı
- c) Kırılma Sağlamlığı
- d) Suya Dayanım Testi

Düşme Sağlamlığı Deneyleri

Düşme sağlamlığı deneyi için düşme sağlamlığı tayin cihazı kullanılmıştır. Başlangıç olarak köşeleri kırılmamış ve bölünmemiş 5 kg briket deney numunesi olarak alınmıştır. Bunun içinden de 10 adet briket seçilmiş ve kumpas ile yumurta şekilli briketlerde uzun eksenin orta noktasında bu eksene dik olan en uzun boyut ölçülmüştür. Bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak orijinal briketlerin ortalama boyutu (ℓ) bulunmuştur.

Deney numunesinden 5 kg tartılmış, düşme sağlamlığı tayin cihazı ile 120 cm yükseklikten tabana düşmesi TS 12055 Kömür Briketi Standardına göre sağlanmıştır. Bu işlem, numune altı defa aynı yükseklikten düşecek şekilde tekrarlanmıştır. Düşme testi deney düzeneği şematik olarak Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Düşme testi deney düzeneği

Deneyi yapılmış numune bir kaba alınmış ve elek analizi yapılmıştır (Resim 4.2). Elek analizi 5, 10, 16, 20, 25, 31,5 mm göz açıklıklı eleklerde yapılmıştır. Her bir elek üzerinde kalan kısım tartılmıştır. En küçük eleğin altında kalan kısım ise hesaplanarak bulunmuştur. Numunenin düşme sağlamlığı deneyinden sonraki ortalama tane boyu (ℓ_{ort}) hesap edilmiştir. Düşme sağlamlığı stabilitesi yüzdesi bulunarak en yakın tam sayı olarak verilmiştir.



Resim 4.2. Düşme sağlamlığı deneyi sonrası elek analizi

Farklı oranlarda hazırlanan 10 adet örnek numunenin düşme sağlamlıkları deneyleri yapılmıştır. Şlam ve dolomit oranları ile düşme sağlamlığı stabiliteleri karşılaştırılmıştır.

Aşınma Sağlamlığı Deneyleri

Aşınma sağlamlığı deneyleri TS 12055 Kömür Briketi standardına göre yapılmış ve Resim 4.3’de gösterilen Besmak marka tambur kullanılmıştır. Köşeleri kırılmamış ve bölünmemiş 5 kg briket deney numunesi olarak alınmıştır. Deney numunesi içerisinde rastgele 10 adet briket seçilmiştir. Kumpas ile yumurta şeklindeki briketlerde uzun eksen orta noktasında bu eksene dik olan en uzun boyut ölçülmüştür. Bu ölçümlerin ortalaması alınarak orijinal briketlerin ortalama boyutu (ℓ) bulunmuştur.

Hazırlanmış deney numunesi tamburun kapağı açılarak tambura yerleştirilmiştir. Tambur 25 devir/dakika hızda, toplam 100 devir yapacak şekilde döndürülmüştür. Tamburun kapağı açılarak briketler boşaltma kabına alınmıştır. Elek analizi yapılmış ve her bir elek üzerinde kalan kısım (m_1) tartılmıştır. 10 adet örnek numune aynı şekilde aşınma sağlamlığı deneyi uygulanmıştır. Numunelerin aşınma sağlamlıkları

elek analiz sonuçları kullanılarak düşme stabilitesinde olduğu gibi hesaplanarak bulunmuştur. Numunelerin aşınma sağlamlığı stabiliteleri karşılaştırılmıştır.

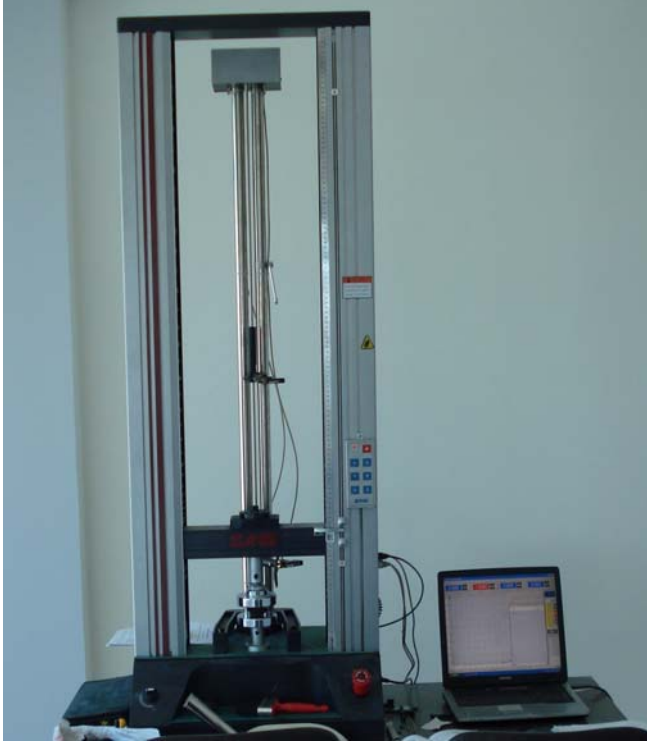


Resim 4.3. Aşınma sağlamlığı deneyi için kullanılan tambur

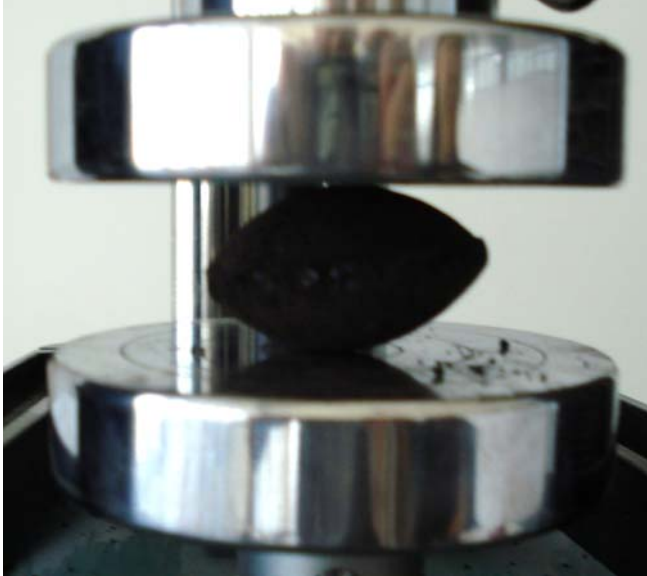
Kırılma Sağlamlığı Deneyleri

Kırılma sağlamlığı deneyi için Resim 4.4’de gösterilen Sans marka paralel iki levhali pres kullanılmıştır. Üzerinde çatlaklar bulunmayan, köşeleri kırılmamış ve bölünmemiş 10 adet briket rastgele seçilerek deney numunesi olarak ayrılmıştır.

Yumurta şeklindeki briketlerde nokta kırılma sağlamlığı ölçülmüştür. Alınan briketler ayrı ayrı presin paralel iki levhası arasına Resim 4.5’de verildiği gibi yerleştirilmiştir. Pres çalıştırılarak briketin kırılma noktası presin uyguladığı yükü gösteren ekrandan tespit edilmiştir. Bu şekilde 10 adet briket kırılarak bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. 10 adet örnek numunenin kırılma sağlamlıkları aynı şekilde ölçülerek karşılaştırmalar yapılmıştır.



Resim 4.4. Kırılma sağlamlığı deneyi için kullanılan paralel iki levhalı pres



Resim 4.5. Yumurta şekilli briketlerin kırma deneyinde konumu

Suya Dayanım Deneyleri

Suya dayanım deneyleri TS 12055 Kömür Briketi standardına göre yapılmış, bunun için kırılma sağlamlığı deneyinde kullanılan paralel iki levhalı hidrolik pres kullanılmıştır. Üzerinde çatlaklar bulunmayan, köşeleri kırılmamış ve bölünmemiş 10 adet örnek numuneden 10'ar adet briket rastgele seçilerek deney numunesi olarak ayrılmıştır.

10'ar adet briket için içi su dolu 10 adet kova hazırlanmıştır. Bir kovaya 1.örnek numune için 10 adet briket koyulmuştur. Daha sonra sudan çıkarılan briketlere, yüzeydeki su süzöldükten sonra doğrudan kırma testi uygulanmıştır. Suya atılan briketlerin ölçülen kırılma sağlamlıklarının aritmetik ortalamaları (T_s) alınmıştır. Suya atılmamış 10 adet orijinal briketin kırılma değeri (T_o), kırılma sağlamlığı tayininde hesaplanan aritmetik ortalama alınmıştır.

Numunelerin suya dayanım yüzdeleri hesaplanmış ve 10 numunenin karşılaştırmaları yapılmıştır.

4.2.5. (0,5-10 mm) Tunçbilek linyiti ve şlamın elementel analizleri ve kükürt türlerinin analizleri

Tunçbilek linyiti ve şlamın karbon, hidrojen, azot ve oksijen elementlerinin analizleri havada kuru, kuru, susuz-külsüz numunede bakılmıştır. Ayrıca kükürt türlerinin analizleri de tespit edilmiştir. Tunçbilek linyiti ve şlamın pritik, sülfat ve organik kükürt sonuçları kurutulmuş numunede bulunmuştur. Tüm analizler standartlara uygun olarak yapılmıştır (TS 329 ISO 157 Kömür-Kükürt Bileşiklerinin Tayini, ASTM D 5373 Kömürde CHN'nin Enstrümental Analizi).

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ülkemiz linyit kömürü yatakları bakımından zengin olduğu için genelde katı yakıt olarak kömür kullanılmaktadır. Linyitlerimizin düşük kalitede oluşu ve içerdikleri kükürt oranının yüksek olması yanma sonunda çıkan SO_2 miktarının fazla olmasına neden olmaktadır. 13/1/2005 tarihli ve 25699 sayılı Resmi gazetenin sınır değerlerinin aşıldığı il ve ilçelerde Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ne göre yerli kömürdeki toplam kükürt (kuru bazda) maksimum %2 olarak belirlenmiştir [23].

Kükürt içeriğinin azaltılması yöntemlerinden biri kömürün yanmadan önce içine kireç ya da dolomit eklenmesidir. Türkiye linyitleri yüksek nem içerikleri nedeniyle kolaylıkla tozlanmaktadır. Bunların parça kömür haline getirilebilmesi ve aynı zamanda lavvar atığı olan ve hiçbir yerde kullanılamayan şlam kömürlerinden de bu sayede faydalanılmasını sağlamak ve hava kirliliğine neden olan duman ve kükürt emisyonlarının azaltılması için linyite alternatif bir yakıt arzı olarak ortaya konulmuştur. Ayrıca bu yakıtların kükürtlerinin külde tutulma oranları incelenmiş ve dayanıklılıkları test edilmiştir.

Külde tutulma oranlarının ve dayanıklılıklarının incelenmesi amacıyla istatistiksel deneysel tasarım yöntemi kullanılarak farklı özelliklerde briketler elde edilmiştir.

Elde edilen briketler sobada yakılarak küllerinin kükürt tutma verimleri karşılaştırılmış; dolomit ve şlam miktarlarının bu verimlere etkileri incelenmiştir.

Tunçbilek linyiti ve şlamın kükürt türleri belirlenerek yanma esnasında pritik kükürdün küle geçmesinin sağlanması üzerine yapılan çalışmalarda külde kükürt tutma verimleri karşılaştırılmıştır.

5.1. Tunçbilek Linyitlerinin Briketlenmesinde İstatiksel Yaklaşım ile Dolomit ve Şlamın Kükürt Tutma Verimleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi

Tunçbilek linyitinin şlam eklenerek briketlenmesi işlemlerinde en uygun koşulların belirlenmesi amacıyla Box-Wilson istatiksel deneysel tasarım yöntemi ile çalışılmıştır. Çalışmalarda şlam miktarı (X_1 , %), dolomit miktarı (X_2 , %) bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Kullanılacak melas miktarı sabit alınmıştır. Çizelge 5.1’de deneysel plandaki bağımsız değişkenlerin gerçek ve kodlu değerleri verilmektedir.

Çizelge 5.1. Deneysel planda bağımsız değişkenlerin gerçek değerleri (X_1 (%, m/m): Şlam miktarı, X_2 (%,m/m): Dolomit miktarı)

Kodlanmış Değerler Gerçek Değerler	-1,414	-1	0	+1	+1,414
X_1 (%, m/m)	0,0	5,86	20,0	34,14	40,0
X_2 (%, m/m)	0,0	0,88	3,0	5,12	6,0

Şlam miktarı için alt değer 0,0, üst değer şlamın içindeki safsızlığın etkisini sınırlamak amacıyla 40,0 seçilmiş, orta değer ise bu iki değer aritmetik ortalaması alınarak 20 olarak bulunmuştur. Dolomit miktarı için de aynı şekilde alt değer 0,0, üst değer de 6,0 olarak seçilmiş, orta değer de 3 olarak bulunmuştur. Şlam miktarı (X_1) için adım aralığı 14,14, dolomit miktarı (X_2) için adım aralığı 2,12’dir.

Plan matrisinin uç noktalarında yer alan α değeri, değişken sayısının karekökü alınarak $\sqrt{2} = 1,414$ olarak belirlenmiştir. Her bir bağımsız değişken için, uç noktaların hesaplanmasında Eş. 5.1 ve Eş. 5.2’de verilen kodlanmış değer eşitlikleri

kullanılmıştır. X_1 için uç noktalar 0 ve 40 olarak, X_2 için uç noktalar 0 ve 6 olarak hesaplanmıştır.

$$x_1 = \frac{X_1 - 20}{14,14}, \quad (5.1)$$

$$x_2 = \frac{X_2 - 3}{2,12}, \quad (5.2)$$

İki değişkenli Box-Wilson deney düzenleme planına göre çalışma, yıldız noktasındaki ($\alpha = 1,414$) dört deney ve merkez noktasındaki iki deney ile birlikte 10 deneyden oluşmaktadır.

Briktleme işlemlerinde en uygun koşulların belirlenmesinde yapılacak deneylerin çalışma koşulları Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Box-Wilson istatiksel metoduna göre hazırlanan deneysel çalışma planı (X_1 (% m/m) : Briktlemede kullanılan şlam miktarı, X_2 (% m/m) : briktlemede kullanılan dolomit miktarı).

Deney No.	x_1	x_2	X_1 , Şlam %, m/m	X_2 , Dolomit %, m/m
1	+1	+1	34,14	5,12
2	+1	-1	34,14	0,88
3	-1	+1	5,86	5,12
4	-1	-1	5,86	0,88
5	0	+1.414	20	6
6	0	-1.414	20	0
7	+1.414	0	40	3
8	-1.414	0	0	3
9	0	0	20	3
10	0	0	20	3

Çizelge 5.2’de gösterilen, deney no 9 ve 10, güvenilirliği artırmak için yapılan tekrar deneyleridir.

45 kg Tunçbilek linyiti ile hazırlanan briketler için kullanılan malzeme miktarları Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. 45 kg Tunçbilek linyiti ile hazırlanacak briketler için kullanılan malzeme miktarları

Deney no	Melas (kg)	Şlam (kg)	Dolomit (kg)	Kömür+melas+şlam+dolomit (kg)
1	4,50	27,85	4,18	81,53
2	4,50	26,03	0,68	76,21
3	4,50	3,26	2,85	55,61
4	4,50	3,11	0,47	53,08
5	4,50	13,39	4,02	66,91
6	4,50	12,27	0,00	61,77
7	4,50	34,77	2,61	86,88
8	4,50	0,00	1,53	51,03
9	4,50	12,87	1,93	64,30
10	4,50	12,87	1,93	64,30

Deneyssel planda belirtilen koşullarda TGA ile yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen külde tutulan kükürt miktarları Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Tunçbilek linyiti ile hazırlanmış olan briketler için istatistiksel yöntemle belirlenen şartların kullanılması ile bulunan deney sonuçları

Deney No	Numune Adı	m ¹ Toplam Nem (g)	Toplam Nem (% m/m)	m _{Kül} ² (g)	Kuru Kömürde Kül (% m/m)	Kuru Kömürde Toplam Kükürt (% m/m)	TGA ³ Cihazında n Çıkan Külde Kükürt (% m/m)	Kuru ⁴ Kömürde Külde Kükürt (% m/m)	Külde ⁵ Kükürt Tutulma Oranları (% m/m)
-	Tunçbilek linyiti (0,5-10)mm	100	17,90	1,00	12,57	2,02	2,86	0,36	17,82
-	Şlam	100	19,50	1,00	23,66	1,82	1,35	0,32	17,58
1	1 Nolu Briket	100	16,70	1,00	21,30	1,89	6,39	1,36	72,01
2	2 Nolu Briket	100	17,70	1,00	16,67	1,82	4,15	0,69	38,01
3	3 Nolu Briket	100	16,90	1,00	19,36	1,81	5,60	1,08	59,90
4	4 Nolu Briket	100	15,50	1,00	15,53	1,78	5,00	0,78	43,62
5	5 Nolu Briket	100	18,80	1,00	20,30	1,69	6,21	1,26	74,59
6	6 Nolu Briket	100	13,30	1,00	14,60	1,89	3,51	0,51	27,11
7	7 Nolu Briket	100	13,70	1,00	18,94	1,90	5,88	1,11	58,61
7/2 Tekrar	7/2 Nolu Briket	100	11,80	1,00	21,67	1,88	5,12	1,11	59,02
8	8 Nolu Briket	100	17,60	1,00	17,59	1,80	6,79	1,19	66,35
9	9 Nolu Briket	100	14,60	1,00	18,10	1,86	6,17	1,12	60,04
10	10 Nolu Briket	100	17,40	1,00	20,75	2,06	5,29	1,10	53,29

¹Toplam nem analizi için 45 kg linyitten hazırlanan briketlerden kısa analiz için alınan numune ağırlığı

²Kül analizi için kurutulmuş kömürden alınan numune ağırlığı

³TGA Cihazından elde edilen kül numunesinin SC cihazında bakılan kükürt değeri

⁴Kuru kömürde külde kükürt=kuru kömürde kül x TGA cihazından çıkan külde kükürt / 100

⁵Külde kükürt Tutulma Oranı=(Kuru kömürde külde kükürt / Kuru kömürde toplam kükürt) x 100

Çizelge 5.4'den görüldüğü üzere, kuru kömürde %2,02 kükürdü olan Tunçbilek linyiti hiç briketlenmezse, içinde %0,36 külde kükürt bulundurmaktadır. Briketleme yöntemiyle külde kükürt yüzdesinin artırılması üzerinde çalışmalar yapılarak toplam kükürt %1,69'a kadar düşürülmüş, külde kükürt ise %1,26'ya kadar arttırılmıştır. Bu sonuçlara göre külde kükürt tutma verimi %74'e kadar ulaşmıştır. Bu verimin elde edilmesinde şlam ve dolomitin etkisi yüksektir. Yüksek verim elde edilmesinde en uygun şlam oranı %20, en uygun dolomit oranı ise %6'dır.

Dolomit miktarının yüksek olduğu deneylerin verimlerinin yüksek olduğu görülmüş, buna bağlı olarak şlam miktarının çok yüksek olmaması daha iyi sonuçlar elde edilmesine olanak vermiştir. 1 nolu brikette şlam oranı (%34,14) yüksek olmasına karşın külde kükürt tutulma verimi %72,01 çıkmıştır. Bu yüksek verimin elde edilmesinin sebebi dolomit oranının da %5,12 gibi yüksek bir değerde olmasıdır. Yine 7, 8, 9 ve 10. briketlerin de külde kükürt tutulma verimleri yüksek çıkmış olup bu briketlerin dolomit oranları aynıdır (%3), fakat şlam oranları farklılık göstermiştir. Bunların içinde 8 nolu briket en yüksek verime sahiptir ve bu briketin içinde hiç şlam kullanılmamıştır. 7 nolu brikette %40 şlam kullanılarak verim %58,61 - 59,02, 9 nolu brikette %20 şlam kullanılarak verim %60,04'e çıkmıştır. 2 ve 4 nolu briketlerde %0,88 oranında dolomit kullanılmış olup külde kükürt tutulma verimleri çok düşük çıkmıştır. 6 nolu brikette hiç dolomit kullanılmadığı için en düşük verim bu brikette çıkmıştır (%27,11).

5.2. Briketlerin Dolomit ve Şlam Miktarlarının Sobadan Elde Edilen Külün Kükürt Tutma Verimine Etkisinin İncelenmesi

Briket deneylerinde elde edilen briketlere sobada yakma deneyleri uygulanmıştır. Briketlerin sobada tam yanmaları sağlanarak ideal koşullara daha yakın olmaları amaçlanmıştır. Kükürt cihazı için gerekli ince kömürü sağlamak amacıyla yanma sonucu oluşan kül 0,2 mm'lik elekten geçirilmiştir. SC 144 analiz cihazında küllerin kükürt analizleri yapılarak külde kükürt tutma verimleri hesaplanmıştır.

Dolomit ve şlam miktarının külde kükürt tutma verimine etkisi Çizelge 5.5’de gösterilmiştir. Buna göre çok yüksek şlam miktarının avantajlı bir durum olmadığı görülmüştür. Briketlerin dolomit içeriğinin yüksek olması ise külde tutulan kükürt miktarının ve külde kükürt yüzdelerinin artmasına neden olmuştur.

TGA cihazından elde edilen külün kükürdü, sobada yakılarak elde edilen külün kükürdüne bakarak daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni TGA cihazında tam yanmanın gerçekleşmiş olmasıdır. Ancak her ikisinde de külde kükürt tutulma oranı en fazla olan deney 5 numaralı deneydir. Bu deneydeki şlam yüzdesi 20, dolomit yüzdesi ise 6’dır.

Çizelge 5.5. Tunçbilek linyiti ve şlam ile hazırlanmış olan briketler için sobada yakma deneyi sonucunda bulunan külde kükürt tutulma oranları

Deney No	Numune Adı	Kuru Kömürde Kül (% m/m)	Kuru Kömürde Toplam Kükürt (% m/m)	Soba ¹ deneyi cihazdan çıkan külde kükürt (% m/m)	Soba ² deneyi külde kükürt (% m/m)	Külde kükürt ³ tutulma oranları (Soba Deneyi) (% m/m)
-	Tunçbilek linyiti (0,5-10)mm	12,57	2,02	sobada yanmadı	sobada yanmadı	-
-	Şlam	23,66	1,82	sobada yanmadı	sobada yanmadı	-
1	1 Nolu Briket	21,30	1,89	5,28	1,12	59,50
2	2 Nolu Briket	16,67	1,82	3,14	0,52	28,76
3	3 Nolu Briket	19,36	1,81	5,31	1,03	56,80
4	4 Nolu Briket	15,53	1,78	4,87	0,76	42,49
5	5 Nolu Briket	20,30	1,69	5,01	1,02	60,18

¹ Sobadan elde edilen kül numunesinin SC cihazında bakılan kükürt değeri

² Soba deneyi külde kükürt=kuru kömürde kül x Sobadan elde edilen külün kükürdü / 100

³ Külde kükürt Tutulma Oranı=(Soba deneyi külde kükürt / Kuru kömürde toplam kükürt) x 100

Çizelge 5.5. (Devam) Tunçbilek linyiti ve şlam ile hazırlanmış olan briketler için sobada yakma deneyi sonucunda bulunan külde kükürt tutulma oranları

Deney No	Numune Adı	Kuru Kömürde Kül (% m/m)	Kuru Kömürde Toplam Kükürt (% m/m)	Soba ¹ deneyi cihazdan çıkan külde kükürt (% m/m)	Soba ² deneyi külde kükürt (% m/m)	Külde kükürt ³ tutulma oranları (Soba Deneyi) (% m/m)
6	6 Nolu Briket	14,60	1,89	1,60	0,23	12,36
7	7 Nolu Briket	18,94	1,90	4,61	0,87	45,95
7/2 (Tekrar)	7/2 Nolu Briket	21,67	1,88	4,00	0,87	46,11
8	8 Nolu Briket	17,59	1,80	6,04	1,06	59,02
9	9 Nolu Briket	18,10	1,86	4,95	0,90	48,17
10	10 Nolu Briket	20,75	2,06	5,67	1,18	57,11

¹ Sobadan elde edilen kül numunesinin SC cihazında bakılan kükürt değeri

² Soba deneyi külde kükürt=kuru kömürde kül x Sobadan elde edilen külün kükürdü / 100

³ Külde kükürt Tutulma Oranı=(Soba deneyi külde kükürt / Kuru kömürde toplam kükürt) x 100

5.3. 0,5-10 mm Tunçbilek Linyiti ve Şlamin Kükürt Türlerinin Belirlenerek Bunların Külde Tutulma Oranlarına Etkileri

Tunçbilek linyiti ve şlamin kükürt türleri belirlenmiş ve kükürt giderimindeki etkileri araştırılmıştır.

İnorganik ve organik yapıda olmak üzere iki ayrı türde bulunan kükürdün inorganik kısmı kimyasal deneylerle analiz edildikten sonra organik kısmı hesapla bulunmuştur. İnorganik kükürt pritik ve sülfat kükürdü olmak üzere ikiye ayrılır. Kömürün yanması sonucu oluşan kükürt oksitlerin bir kısmı, yakma sistemindeki kül tarafından kimyasal olarak tutulmakta ve tutulan miktar külün bileşimine bağlı olarak değişmektedir.

Hazırlanan briketlere farklı oranlarda dolomit eklenerek yanma esnasında pritik kükürdün bir kısmının küle geçmesinin sağlanması üzerine yapılan çalışmalarda yüksek verimler elde edilmiştir. Tunçbilek linyiti ve şlamın içerdiği pritik, sülfat ve organik kükürdün miktarları Çizelge 5.6’da verilmiştir. Bu değerlerdeki hata payı TS 329’a göre; pritik kükürt için %0,07, sülfat kükürdü için %0,02’dir [27].

Çizelge 5.6. Tunçbilek linyiti ve şlamın kükürt türlerinin deney sonuçları

Kükürt Türü	Tunçbilek Linyiti (0,5-10 mm)(%10,52 nem) (kurutulmuş)	Şlam (0,1-0,5 mm)(%7,63 nem) (kurutulmuş)
Pritik kükürt (% m/m)	0,51	0,59
Sülfat kükürdü (% m/m)	0,36	0,32
Organik kükürt (% m/m)	1,15	0,91

Sülfat kükürdü kömürün külünde kalmakta ve soba deneyleri sonucu küle geçirmek istediğimiz kükürt içeriğinde yer almamaktadır. Bu da %17,82’lik bir kısmı oluşturmaktadır. Bu nedenle Tunçbilek linyitinin geriye kalan %82,18’lik yanıcı kükürdünün külde tutulma verimi düzeltilerek tekrar hesaplanmıştır. Hesaplama sonucu elde edilen verimler Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Tunçbilek linyiti ve şlamın TGA ve sobada yanma deneyi sonucu elde edilen külde kükürt tutulma oranlarının düzeltilmesi

Numune Adı	Kuru Kömürde Toplam Kükürt (% m/m)	Külde Kükürt Tutulma Oranları (TGA) (% m/m)	Yanabilir ¹ Kükürt Oranları (TGA) (% m/m)	Külde Kükürt Tutulma Oranları (Soba Deneyi) (% m/m)	Külde ² Kükürt Tutulma Oranları (TGA)-Düzeltilmiş (% m/m)	Külde ³ Kükürt Tutulma Oranları (Soba Deneyi)-Düzeltilmiş (% m/m)
Tunçbilek linyiti (0,5-10)mm	2,02	17,82	82,18	sobada yanmadı	-	-
Şlam	1,82	17,55	82,45	sobada yanmadı	-	-
1 Nolu Briket	1,89	72,01	27,99	59,50	87,63	72,41
2 Nolu Briket	1,82	38,01	61,99	28,76	46,25	35,00
3 Nolu Briket	1,81	59,90	40,10	56,80	72,89	69,11
4 Nolu Briket	1,78	43,62	56,38	42,49	53,08	51,70
5 Nolu Briket	1,69	74,59	25,41	60,18	90,77	73,23
6 Nolu Briket	1,89	27,11	72,89	12,36	32,99	15,04
7 Nolu Briket	1,90	58,61	41,39	45,95	71,32	55,92
7/2 Nolu Briket	1,88	59,02	40,98	46,11	71,81	56,10
8 Nolu Briket	1,80	66,35	33,65	59,02	80,74	71,82
9 Nolu Briket	1,86	60,04	39,96	48,17	73,06	58,61
10 Nolu Briket	2,06	53,29	46,71	57,11	64,84	69,50

¹ Yanabilir Kükürt oranı=100-Külde kükürt Tutulma Oranı(TGA)

² Külde kükürt tutulma oranı TGA düzeltilmiş=(Külde kükürt tutulma oranı(TGA)/Tunçbilek linyiti yanabilir kükürt)x100

³ Külde kükürt tutulma oranı Soba deneyi düzeltilmiş=(Külde kükürt tutulma oranı(soba deneyi)/Tunçbilek linyiti yanabilir kükürt)x100

Ayrıca karbon, hidrojen, azot ve oksijen analizleri de yapılarak briketlemeden önceki kömürlerin elementel yapıları hakkında fikir sahibi olunmuştur. Çizelge 5.8’de Tunçbilek linyiti ve şlamın elementel analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.8. Tunçbilek linyiti ve şlamın elementel analiz sonuçları

Numune işareti : 0.5-10 mm Tunçbilek linyiti, (%10,52 nem), (kurutulmuş)			
Element	Havada kuru numunede (% m/m)	Kuru numunede (% m/m)	Susuz-külsüz numunede (% m/m)
C	67,13	68,11	79,64
H	4,68	4,75	5,56
N	2,62	2,66	3,11
O	8,01	8,12	9,49
Numune işareti : 0.1-0.5 mm Şlam, (%7,63 nem), (kurutulmuş)			
Element	Havada kuru numunede (% m/m)	Kuru numunede (% m/m)	Susuz-külsüz numunede (% m/m)
C	54,93	55,43	76,86
H	3,77	3,80	5,27
N	2,13	2,15	2,99
O	9,12	9,2	12,76

5.4. Briketlerin Kısa Analizlerinin İncelenerek Piyasaya Arz Durumlarının Belirlenmesi

Tunçbilek linyiti ve şlamdan briket hazırlanması deneylerinde toz kömürlerin (Tunçbilek linyiti ve şlam) ve hazırlanan briketlerin kısa analizleri yapılmıştır. Briketlerin piyasaya arz edilebilmesi için alt ısı değerinin ve baca gazına geçen kükürt oranının belirli bir sınır değerinde olması gerekmektedir.

Briketler yanmayı olumsuz yönde etkileyecek oranda rutubet ihtiva etmemelidir. Tunçbilek linyiti ve şlam orijinal bazda %17-19 oranlarında nem içermektedir. Briketlerin nem analizleri briketleme deneyi biter bitmez hemen yapıldığı için nem değerleri %13-18 oranlarında çıkmıştır. 30 gün sonra bu nem değerleri %5-10 gibi seviyelere gerilemiştir. Oldukça kuru hale gelen briketlerin sobada yakma deneyleri

esnasında rutubet kaynaklı hiçbir sorun yaşanmamıştır. Nem değerleri direkt olarak alt ısıyı etkilediği için düşük nem içerikli briketlerin alt ısı değerleri daha yüksek çıkmıştır. Hava kirliliği kontrolü yönetmeliğine göre yerli kömürlerin toplam nemi maksimum %20 olması istenmektedir. Buna göre elde ettiğimiz briketlerin nem değerleri bu şartlara uymaktadır.

0,5-10 mm boyutundaki Tunçbilek linyitinin kuru kömürdeki kül yüzdesi %12,57 olup oldukça düşüktür. Fakat bunun içerisine şlam ve dolomit eklendiğinde oluşan briketlerin kül yüzdelерinde bir artış olmuştur. Briketlerin kuru kömürdeki kül yüzdeleri %14-21 arasında değişmektedir. Bu artış çok fazla bir artış değildir. Düşük küllü briketlerin yanması daha kolay olmuş ve orijinal alt ısı değerleri yükselmiştir.

Briketlerin kuru bazda uçucu madde oranları bir miktar artış göstermiştir. Bu oranlar %12'den büyük çıktığı için TS 4900'e uygun üstten yakmalı kovalı sobalarda ısı verimleri daha yüksek çıkacağı belirtilmektedir. Çalışmamızda kuru kömürde %34-38 oranlarında olan uçucu madde toz kömür briketlendikten sonra %38-40' a ulaşarak az bir artma meydana gelmiştir. Çok fazla bir artış olmadığından ısı verimin düşmemesine, aksine toz kömürden parça kömür şekline geldiği için ısı verimin artmasına olanak vermiştir.

Briketlerin ve toz kömürlerin orijinal alt ısı değerlerini hesaplamak için, üst ısı analizleri yapılarak yabancı ısılar çıkarılmıştır. Briketlerde TS 12055 standardına göre alt ısı değerinin en az 4000 cal/g olması istenmektedir. Bu özellik, orijinal (satışa sunulan) briket bazındadır. Tunçbilek linyitinin alt ısı değeri 5208 cal/g, şlamın alt ısı değeri ise 4371 cal/g gelmiştir. Briketlerin alt ısı değerleri 4500-5200 cal/g arasında değişmektedir. Kalori değerleri oldukça yüksek olup briketlerin piyasaya arzı olanaklı görülmektedir.

Linyitlerde kuru kömürde toplam kükürt değerinin %2'yi geçmemesi gerekmektedir. 0,5-10 mm Tunçbilek linyitinin kükürdü çoğu zaman %2'yi geçmektedir. Briketlerin toplam kükürt analizleri yapılmış ve %5-15 oranlarında düşüşler olmuştur. Briketlerin Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre baca gazına geçen kükürt

oranının (yanıcı kükürt) %0,8-1,0'i geçmemesi gerekmektedir. Yaptığımız çalışmada %1,66 ve %1,50 olan toz kömürün ve şlamın yanıcı kükürdü, briketlerde %0,43-1,38'lere kadar düşürülmüştür.

Çizelge 5.9'da Tunçbilek linyiti, şlam ve briketlerin kısa analizleri ve kükürt analizleri verilmiştir.

Çizelge 5.9. Tunçbilek linyiti, şlam ve briketlerin kısa analizleri ve kükürt analizleri

Numune Adı	Toplam Nem (% m/m)	Kuru Kömürde Kül (% m/m)	Kuru Kömürde Uçucu Madde (% m/m)	Orjinal Alt Isı (cal/g)	Kuru Kömürde Toplam Kükürt (% m/m)	Kuru Kömürde Külde Kükürt (% m/m)	Kuru Kömürde Yanıcı Kükürt (% m/m)
Tunçbilek linyiti (0,5-10)mm	17,90	12,57	38,31	5208	2,02	0,36	1,66
Şlam	19,50	23,66	34,80	4371	1,82	0,32	1,50
1 Nolu Briket	16,70	21,30	39,78	4600	1,89	1,36	0,53
2 Nolu Briket	17,70	16,67	41,86	4784	1,82	0,69	1,13
3 Nolu Briket	16,90	19,36	42,88	4753	1,81	1,08	0,73
4 Nolu Briket	15,50	15,53	41,44	5041	1,78	0,78	1,00
5 Nolu Briket	18,80	20,30	40,50	4516	1,69	1,26	0,43
6 Nolu Briket	13,30	14,60	40,06	5230	1,89	0,51	1,38
7 Nolu Briket	13,70	18,94	38,74	4992	1,90	1,11	0,79
7/2 Nolu Briket	11,80	21,67	39,67	4922	1,88	1,11	0,77
8 Nolu Briket	17,60	17,59	42,57	4756	1,80	1,19	0,61
9 Nolu Briket	14,60	18,10	40,69	5026	1,86	1,12	0,74
10 Nolu Briket	17,40	20,75	40,28	4691	2,06	1,10	0,96

5.5. Tunçbilek Linyitinin CMA’da Bekletildikten Sonra Elde Edilen Briketlerin Kükürdünün Külde Tutulma Verimlerinin İncelenmesi

Kömürün yanması esnasında oluşacak kükürt dioksiti tutacak maddenin kömüre önceden yerleştirilmesi için Kalsiyum Magnezyum Asetat (CMA)’ın kullanılabilirliği ve elde edilen briketlerin külde kükürt tutma verimleri bu çalışmada incelenmiştir.

50 kg Tunçbilek linyiti %20,5’lik CMA zltisinde 17,5 saat bekletildikten sonra briketleme deneyleri yapılmıştır. Briketlemeden önce orijinal kömürden ve CMA’da bekletilen kömürden bir miktar örnek alınarak kısa analizleri ve kükürt analizleri yapılmıştır. Orijinal kömürden ve CMA’da bekletilen kömürden elde edilen briketlerden de yeteri kadar numune alınarak kısa analizleri yapılmıştır. %2,8 dolomit ve %10 melas kullanılarak yapılan briketlerin külde kükürt tutma verimleri hesaplanmıştır.

Çizelge 5.10. Tunçbilek linyitinin CMA zltisinde bekletilerek elde edilen briketlerin kısa analiz sonuçları ve külde kükürt tutma verimlerinin karşılaştırılması

Numune Adı	Toplam Nem (%, m/m)	Kuru Kömürde Kl (%, m/m)	Kuru Kömürde Uçucu Madde (%, m/m)	Orjinal Alt Isı (cal/g)	Kuru Kömürde Toplam Kükürt (%, m/m)	Kuru Kömürde Külde Kükürt (%, m/m)	Külde Kükürt Tutulma Oranları (% m/m)
CMA ile Yıkanmamış Kömür (Orjinal Kömür)	19,20	19,13	37,50	4637	1,99	0,34	17,30
CMA ile Yıkanmış Kömür	22,20	17,07	40,17	4656	2,12	0,98	46,06
CMA ile Yıkanmış ve Briketlenmiş Kömür (CMA’lı Briket)	14,40	19,88	42,65	4831	1,81	1,48	81,72
CMA ile Yıkanmamış ve Briketlenmiş Kömür (Orjinal Briket)	12,20	17,59	41,62	5130	1,89	1,13	59,66

Çizelge 5.10'dan da anlaşıldığı gibi külde kükürt tutulma verimlerinin içinde en fazla verimin %81,72 ile CMA'da bekletilerek briketlenen kömürün olduğu görülmüştür. Orijinal kömürün yani CMA'da bekletilmeyen kömürün briketinin külde kükürt tutma verimi %59,66 olarak belirlenmiştir.

Külde tutulan kükürt miktarındaki bu artışın nedeni kömür numunesinin CMA çözeltisi ile yıkanması sırasında çözelti içerisinde bulunan Ca^{++} iyonunun kömüre adsorbe olarak, kömürde bulunan kükürt ile kalsiyum sülfat (CaSO_4) bileşiğini oluşturmasıdır. Briketleme işleminin yapılması sonucunda külde tutulan kükürt yüzdesinin artması, briketleme işlemi sırasında kullanılan dolomitte bulunan Ca^{++} ve Mg^{++} iyonlarının etkisi ile açıklanabilir [32].

5.6. Briketlerin Dayanıklılık Testlerine Göre Uygun Şlam ve Dolomit Miktarının Belirlenmesi

Briketlerin dayanıklılık deneylerinde farklı oranlarda şlam ve dolomit eklenen briketlerin deney sonuçlarına bakarak dolomit ve şlamın etkileri incelenmiştir.

Düşme ve aşınma sağlamlığı deneylerinde stabilitelerin hesaplanabilmesi için ilk olarak briketlerin boyutları (ℓ) ölçülmüştür. Daha sonra deney sonrasında briketlerin elek analiz sonuçlarına göre ortalama tane boyu (ℓ_{ort}) hesap edilmiştir. Düşme ve aşınma sağlamlığı stabiliteleri Eş. 5.3 ve Eş. 5.4'den hesaplanmıştır.

$$\text{Düşme Stabilitesi (\%)} = \frac{\lambda_{ort}}{\lambda} \times 100 \quad (5.3)$$

$$\text{Aşınma Stabilitesi (\%)} = \frac{\lambda_{ort}}{\lambda} \times 100 \quad (5.4)$$

Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Briketlerin düşme ve aşınma deneylerindeki boyutlarının ve stabilitelelerinin karşılaştırılması

Numune Adı	ℓ (mm)	Düşme ℓ_{ort} (mm)	Aşınma ℓ_{ort} (mm)	Düşme Sağlamlığı (% m/m)	Aşınma Sağlamlığı (% m/m)
1 Nolu Briket	37,40	16,27	3,78	43,50	10,11
2 Nolu Briket	38,10	22,64	4,72	59,43	12,39
3 Nolu Briket	37,50	14,13	4,61	37,69	12,29
4 Nolu Briket	38,40	17,48	4,46	45,52	11,61
5 Nolu Briket	39,60	22,55	5,75	56,95	14,53
6 Nolu Briket	34,30	12,18	3,86	35,50	11,25
7 Nolu Briket	34,80	11,49	4,55	33,02	13,06
7/2 Nolu Briket	32,40	8,20	3,57	25,32	11,01
8 Nolu Briket	38,70	25,4	4,63	65,65	11,96
9 Nolu Briket	38,10	15,97	5,34	41,91	14,02
10 Nolu Briket	39,10	23,38	4,81	59,79	12,31

Briketlerin dolomit ve şlam oranlarının düşme ve aşınma sağlamlıkları üzerine etkileri Çizelge 5.12’de gösterilmiştir. Burada düşme sağlamlığı en yüksek çıkan 8 numaralı briketin dolomit oranı %3, şlam oranı %0’dır. Yine düşme sağlamlığı en düşük çıkan 7 numaralı briketin dolomit oranı %3, şlam oranı %40’dır. Bu sonuçlardan görüleceği gibi şlam kalite olarak kötü olduğu için ve içinde çok fazla safsızlığı olduğu için briketin düşme dayanıklılığını azaltmaktadır. Aşınma sağlamlığı en iyi çıkan briket 5 numaralı brikettir. Bu briketin dolomit oranı %6, şlam oranı %20’dir. Şlam oranı en yüksek olan briketin hem düşme hem de aşınma sağlamlığı çok düşük çıkmıştır. Deneyler sonucunda düşme ve aşınma sağlamlığı değerleri TS 12055 Kömür Briketi Standardındaki değerlere göre oldukça düşük

çıkıştır. Bunun nedeni briket makinesinin yeterli pres basıncını uygulayamamış olmasıdır.

Çizelge 5.12. Briketlerin dolomit ve şlam oranlarının düşme ve aşınma sağlamlığı üzerine etkileri

Numune Adı	Dolomit (% , m/m)	Şlam (% , m/m)	Düşme Sağlamlığı (% , m/m)	Aşınma Sağlamlığı (% , m/m)
1 Nolu Briket	5,12	34,14	43,50	10,11
2 Nolu Briket	0,88	34,14	59,43	12,39
3 Nolu Briket	5,12	5,86	37,69	12,29
4 Nolu Briket	0,88	5,86	45,52	11,61
5 Nolu Briket	6	20	56,95	14,53
6 Nolu Briket	0	20	35,50	11,25
7 Nolu Briket	3	40	33,02	13,06
7/2 Nolu Briket	3	40	25,32	11,01
8 Nolu Briket	3	0	65,65	11,96
9 Nolu Briket	3	20	41,91	14,02
10 Nolu Briket	3	20	59,79	12,31

Kırılma sağlamlığı tayini paralel iki levhalı hidrolik presin uyguladığı yükün kgf biriminde okunmuş olan sonucudur. Suya dayanım tayininde, briketler su içinde 1 saat bekletildikten sonra pres cihazından kgf cinsinden kırılma değerleri (T_s) okunmuştur. Suya atılmadan önce kırılma testi uygulanan briketlerin kırılma değerleri (T_o) de alınarak suya dayanım yüzdeleri Eş. 5.5'den hesaplanmıştır.

$$\text{Suya Dayanım Yüzdesi (\%)} = \frac{T_s}{T_o} \times 100 \quad (5.5)$$

Suya dayanım yüzdesini hesaplamakta kullanılan T_s ve T_o değerleri Çizelge 5.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.13. Suya dayanım yüzdesini hesaplamak için yapılan kırılma test sonuçları

Numune Adı	T_s (kgf)	T_o (kgf)	Suya Dayanım Yüzdesi (%)
1 Nolu Briket	2,17	10,64	20,40
2 Nolu Briket	3,71	12,31	30,11
3 Nolu Briket	2,12	10,71	19,81
4 Nolu Briket	2,92	9,70	30,14
5 Nolu Briket	4,43	13,32	33,28
6 Nolu Briket	0,00	4,18	0,00
7 Nolu Briket	0,99	5,62	17,62
7/2 Nolu Briket	1,28	6,72	19,10
8 Nolu Briket	6,79	18,91	35,89
9 Nolu Briket	1,62	8,37	19,34
10 Nolu Briket	2,90	15,73	18,43

Yapılan deneyler sonucu bulunan kırılma sağlamlığı ve suya dayanım yüzdeleri Çizelge 5.14’de verilmiştir.

Çizelge 5.14. Briketlerin kırılma sağlamlığı ve suya dayanım deneyleri sonuçlarının karşılaştırılması

Numune Adı	Kırılma Sağlamlığı (kgf)	Suya Dayanım Yüzdesi (%)
1 Nolu Briket	10,64	20,40
2 Nolu Briket	12,31	30,11
3 Nolu Briket	10,71	19,81
4 Nolu Briket	9,70	30,14
5 Nolu Briket	13,32	33,28
6 Nolu Briket	4,18	0,00
7 Nolu Briket	5,62	17,62
7/2 Nolu Briket	6,72	19,10
8 Nolu Briket	18,91	35,89
9 Nolu Briket	8,37	19,34
10 Nolu Briket	15,73	18,43

Kırılma sağlamlığı sonuçlarına baktığımızda en iyi sonuçların alındığı briketler 8, 10 ve 5 numaralı briketlerdir. Suya dayanım yüzdelere baktığımızda ise en iyi sonuçların alındığı briketler 8, 5, 4 ve 2 numaralı briketler çıkmıştır.

Dayanıklılık testlerinin tümünü ele aldığımızda şlam içermeyen 8 numaralı briket ve şlam içerenlerin içinde 5 numaralı briket en iyi sonuçları elde ettiğimiz briketlerdir. Dayanıklılık deneyleri sonucunda elde edilen değerler TS 12055 Kömür Briketi Standardındaki değerlere göre oldukça düşük çıkmıştır. Bunun nedeni briket makinesinin yeterli pres basıncını uygulayamamış olmasıdır.

Pres basıncı, kullanılan kömürün özellikleri ile uygulanan briketleme yöntemine bağlıdır. Basınç, kömür taneleri arasındaki uzaklığı azaltarak birbirine

yakınlaşmasını sağlamak ve tane yüzeylerinin temasını artırmaktadır. Tanelerin kırılıp yerlerinin değişmesi sonucunda boşluklar dolmaktadır. Ancak, taneler birbirleriyle daha sıkı temas ettirilirken optimum değerin üzerine çıkılması durumunda, plastik deformasyonun geri dönüşlü olması ve briketlerin birden genişmesi, çatlaklar oluşturarak sağlamlığını azaltmaktadır [25].

Briketleme makinesinin uygulama basıncının ne kadar olduğunu bilemediğimizden dolayı, bu basıncın $300-500 \text{ kg/cm}^2$ arasında olması briketlerin dayanıklılığının artmasını sağlayabilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 0,5-10 mm boyut aralığındaki Tunçbilek linyitinin şlam ile karıştırılarak briketlenmesi ve yanma esnasında kükürdün külde tutulması amaçlanmıştır. Böylece hiçbir yerde kullanılamayan şlamın endüstriye kazandırılması ve yüksek kükürt içerikli toz kömürün briketlenerek düşük kükürtlü, sağlam ve homojen bir yakıta dönüştürülmesi için çalışılmıştır. Tunçbilek linyiti değişik oranlarda şlam ve dolomit ile karıştırılarak melas bağlayıcısı ile briket haline getirilmiş ve yanma esnasında kükürdünün külde tutulma verimleri incelenmiştir. Bu deneyler sonucu külde kükürt tutulma verimleri yüksek olan briketler elde edilmiştir. Briketlerin dayanıklılık testleri yapılarak en uygun şlam ve dolomit oranına sahip briketler belirlenmeye çalışılmıştır.

Tunçbilek linyitinin briketlenmesi deneylerinde Box-Wilson istatistiksel deneysel tasarım yöntemine göre elde edilen briketlerin maksimum külde kükürt tutulma verimi %74,59 olarak bulunmuştur. Bu verimin elde edildiği briketin dolomit oranı %6, şlam oranı ise %20 olarak belirlenmiştir. %2,02 toplam kükürde sahip olan Tunçbilek linyiti briketlenerek toplam kükürdü %1,69'a kadar düşürülmüştür. TGA cihazında yakılarak elde edilen külün kükürdüne baktığımızda ise Tunçbilek linyitinde %0,36 iken 5 numaralı brikette %1,26 çıkmıştır. İstatistiksel deneysel tasarım planına göre maksimum külde kükürt tutulma oranının görüldüğü dolomit oranı %6 olarak belirlenmiştir. Dolomit oranının yüksek tutulduğu deneylerin verimlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Daha yüksek dolomit oranlarında çalışılması kül oranının artışına neden olduğu için olumsuzluklar yaratabilir, çünkü yüksek kül istenmeyen bir durumdur. İleriki çalışmalarda şlam oranının bir miktar daha az tutulması kül oranının düşmesi ve külde kükürt tutulma oranının yükselmesini sağlayacağı düşünülmektedir.

Tunçbilek linyiti ve şlamın briketlenmesi deneylerinde elde edilen briketler sobada yakılmış ve buradan alınan küllerin külde kükürt analizleri yapılmıştır. Soba TGA'da ki gibi, homojen sıcaklık dağılımı sağlayamadığından, sobada yakma deneylerinde yanmayan parçacıklar görülmüştür. Bu nedenle buradan elde edilen küllerin külde

kükürtleri daha düşük olmuştur. Dolayısıyla elde edilen maksimum külde kükürt tutulma verimi %60,18 ile yine 5 numaralı briket deneyidir. İstatiksel deneysel tasarım planına göre bu briketin elde edilmesinde kullanılan dolomit oranı %6, şlam oranı %20'dir.

Tunçbilek linyiti kükürt türleri saptanarak külde kükürt tutulma verimi üzerine etkileri incelenmiş ve kömürde yanmadan etkilenmeyen sülfat kükürdünün %0,36 olduğu belirlenmiştir. Geriye kalan %1,66'lık kükürt pritik ve organik kükürttür. Çalışmamızda bu kükürtleri yanma esnasında külde tutmayı hedeflemiş ve yüksek verimlere ulaşılmıştır. Tunçbilek linyitinin %82,18 olan yanıcı kükürdünü baz alarak briketlerin külde kükürt tutulma verimleri, TGA ve soba deneylerinde ayrı ayrı tekrar hesaplanmıştır. Böylece maksimum külde tutulma verimlerinin TGA deneyinde %90,77'ye, soba deneyinde %73,23'e yükseldiği görülmüştür. Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre briketlerde baca gazına geçen kükürt oranının (yanıcı kükürt) %0,8-1,0'i geçmemesi gerekmektedir [23]. Yapılan çalışmada yanıcı kükürt oranı %0,43'e kadar düşürülebilmektedir.

Bu çalışmada yapılan briketlerin içinde en düşük orijinal alt ısı değeri 4516 cal/g olarak belirlenmiştir. Briketlerde alt ısı değerinin en az 4000 cal/g olması istenmektedir. Bu nedenle briketlerin kalori değerleri oldukça yüksek olup piyasaya arzı için bir engel bulunmamaktadır.

Külde kükürdü tutacak madde olarak CMA çözültisi kullanılmış ve külde kükürt tutulma oranı %81,72'lere ulaşmıştır. CMA çözültisi ile linyitin ve şlamın muamele edilmesi ile daha yüksek külde kükürt tutulma verimleri elde edilebilir. Bu şekilde karışımdaki şlam oranını fazlalaştırarak hiçbir yerde kullanılamayan şlamı değerlendirebilir ve külde kükürt tutulma verimini olumsuz etkileyen faktörler ortadan kaldırılabilir. Böylece daha detaylı bir çalışma yapılabilir.

Briketlerin piyasaya arz edilebilmeleri için incelenen diğer bir parametre dayanıklılık testleridir. Bu testlerden ilki düşme sağlamlığı testidir. Bu test sonucu maksimum düşme sağlamlığı 8 numaralı briket için %65,65 olarak belirlenmiştir. Bu değerin

elde edildiği briketin dolomit oranı %3, şlam oranı %0'dır. Briketlere uygulanan ikinci test aşınma sağlamlığı deneyinde, sağlamlık yüzdesi en iyi çıkan sonuç %6 dolomit ve %20 şlam oranı ile 5 numaralı briketdir. Üçüncü olarak kırılma sağlamlığı tayininde 18,91 kgf değeri ile 8 numaralı briket için en iyi sonuç alınmıştır. Suya dayanım tayininde de maksimum sonuç %35,89 ile 8 numaralı briket için elde edilmiştir. Dayanıklılık testlerinin tümünü ele aldığımızda şlam içermeyen 8 numaralı briket ve şlam içerenlerin içinde 5 numaralı briket en iyi sonuçları elde ettiğimiz briketlerdir. Dayanıklılık testleri sonuçlarına baktığımızda elde edilen değerler TS 12055 Kömür Briketi standardındaki değerlere göre oldukça düşük çıkmıştır. Bunun nedeni beklenildiği gibi briket makinesinin yeterli pres basıncını uygulayamamış olmasıdır.

Bu çalışmanın sonucunda, Tunçbilek linyiti ile farklı oranlarda şlam ve dolomit karıştırılarak yapılan briketlerin, TGA'da yakma deneyinde %90,77, soba deneyinde %73,23 külde kükürt tutulma verimine ulaşması sağlanmıştır. Hava kirliliği kontrolü yönetmeliğine göre elde edilen briketlerin emisyon değerlerinde büyük düşüşler sağlanmıştır. Dayanıklılık testleri sonuçları düşük çıktığı için ileriki çalışmalarda pres basıncını artırarak daha dayanıklı briketler elde edilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Kural, O., Asmatülü, R., “Türkiye’de kömür madenciliğinin tarihçesi”, **Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri**, Ed. O. Kural, İstanbul, 1-6 (1998).
2. İnternet: Türkiye Kömür İşletmeleri, “Kömür Hakkında”
http://www.tki.gov.tr/dosyalar/komur_nedir.pdf (2009)
3. Özdoğan, S., Ünver, Ö., “Türkiye’nin taş kömürü ve linyit envanteri ile ilgili ekonomik değerlendirme”, **Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri**, Ed. O. Kural, İstanbul, 7-16 (1998).
4. Meriçboyu, A.E., Beker, Ü.G., Küçükbayrak, S., “Kömürün kullanımını belirleyen önemli teknolojik özellikler”, **Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri**, Ed. O. Kural, İstanbul, 149-163 (1998).
5. ASTM D 4239, “Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion Methods”, 1-8 (2008).
6. Yaman, S., Çelik, M.S., Küçükbayrak, S., “Kömürün kükürdünün giderilmesi”, **Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri**, Ed. O. Kural, İstanbul, 337-351 (1998).
7. Deniz, V., Ümit, B., “Suya dayanıklı briket üretiminde yeni bir bağlayıcı: Co-Polimer (Mowilith®)”, **Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı**, Zonguldak, 253-259 (2004).
8. Çincinoğlu, Ö., Anıl, M., Kılıç, Ö., “İthal ve yerli kömür karışımı ile farklı bağlayıcı maddeler kullanılarak üretilen pres kömürler”, **Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı**, Zonguldak, 239-251 (2004).
9. Chen, C., Kojima, T., “Modeling of sulfur retention by limestone in coal briquette”, **Fuel Processing Technology**, 53: 49-67 (1997).
10. Yıldırım, M., Özbayoğlu, G., “Bağlayıcı olarak amonyum nitrohumat içeren linyit briketlerine ısıtılmanın etkisi”, **Türkiye 11. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı**, Bartın, 209-214 (1998).
11. Deniz, V., Özsoy, T., “Saracaova (Nazilli-Aydın) linyit kömür tozlarının briketlenmesi”, **Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı**, Zonguldak, 197-204 (2002).
12. Zhang, X., Xu, D., Xu, Z., Cheng, Q., “The effect of different treatment conditions on biomass binder preparation for lignite briquette”, **Fuel Processing Technology**, 73: 185-196 (2001).

13. Topal, H., “Evsel ısıtmadan kaynaklanan SO₂ emisyonunun azaltılmasında kireç ve kireç-melas karışımının kullanılması”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Der.**, 15 (1): 15-29 (2000).
14. Kim, H.J., “Desulfurization by coal briquette combustion and it’s effect on environment”, **Nippon Enerugi Gakkaishi**, 76 (3): 205-213 (1997).
15. Tosun, Y.I., “Clean fuel-magnesia bonded coal briquetting”, **Fuel Processing Technology**, 88: 977-981 (2007).
16. Yıldırım, M., Özbayoğlu, G., “Production of ammonium nitrohumat from Elbistan lignite and its use as a coal binder”, **Fuel**, 76 (5): 385-389 (1997).
17. Kural, O., Tangör, A., “Briketlemede yeni boyutlar”, **Madencilik**, 24 (3): 37-43 (1985).
18. Sağlam, M., Yüksel, M., Tutaş, M., Karaduman, M., “Soma linyit kömürü tozlarından hava ve suya dayanıklı briket üretimi”. **Türkiye 4. Kömür Kongresi**, TMMOB Maden Muh. Odası, Zonguldak, 237-249 (1984).
19. Beker, Ü.G., Küçükbayrak, S., Özer, A., “Briquetting of Afşin-Elbistan lignite”, **Fuel Processing Technology**, 55: 117-127 (1998).
20. Beker, Ü.G., “Briquetting of Afşin-Elbistan lignite of Turkey using different waste materials”, **Fuel Processing Technology**, 51: 137-144 (1997).
21. Ünlü, M., Doğan, H., Tetik, T., “TKİ-ADL işletmesi şlam kömürünün miktar ve kalitesini belirleme ile susuzlandırma çalışmaları”, **Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı**, Zonguldak, 201-212 (2000).
22. “Kömür Sektör Raporu (Linyit)”, **Türkiye Kömür İşletmeleri**, Ankara, 1-21 (2009).
23. “Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği”, Resmi Gazete, Sayı: 25699, 1-26 (2005).
24. Altun, N.E., Hıcılmaz, C., Bağcı, A.S., “Influence of coal briquette size on the combustion kinetics”, **Fuel Processing Technology**, 85: 1345-1357 (2004).
25. Beker, Ü.G., Kural, O., Dağalp, M., “Kömürün Briketlenmesi”, **Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri**, Ed. O. Kural, İstanbul, 453-475 (1998).
26. TS 690 ISO 589, “Toplam rutubet tayini”, 1-7 (2002).
27. TS 329 ISO 157, “Kömür-Kükürt türlerinin tayini”, 1-13 (2000).

28. ASTM D 5373, “Standard test methods for instrumental determination of carbon, hydrogen, and nitrogen in laboratory samples of coal and coke”, 1-4 (2002).
29. ASTM D 3176, “Standard practice for ultimate analysis of coal and coke”, 1-3 (1989).
30. ASTM D 5865, “Standard test method for gross calorific value of coal and coke”, 1-14 (2007).
31. ASTM D 5142, “Standard Test Methods for Proximate Analysis of the Analysis Sample of Coal and Coke by Instrumental Procedures”, 1-5 (2009).
32. Demiray, S., Doğan, Ö.M., Uysal, B.Z., “Kalsiyum Magnezyum Asetat Çözeltisi ile Yıkanan Kömürün Yanması ve SO₂ Emisyonu”, **2. Ulusal Yanma ve Hava Kirliliği Sempozyumu Bildiri Kitabı**, Ed. S. Kara, Eskişehir, 171-214 (1994).

EKLER

EK – 1 Baca gazına geçen kükürt (yanıcı kükürt) hesabı

Kömür briketi numunelerinden analiz numunesi alınarak, numunede ASTM D 4239 standardına göre toplam kükürt analizi yapılır. TGA cihazına yaklaşık 1 gram numune, sobaya yeteri kadar numune tartılır. Numunelerin yanması sağlanır. Yanma bittikten sonra külün soğuması beklenir. Sobada kalan külün tamamı, TGA cihazında kroze de kalan külün tamamı tartılır. Alınan kül 0,25 mm'nin altına geçecek şekilde öğütülür, karıştırılarak analiz numunesi alınır. Bu numune de ASTM D 4239 standardına göre kükürt analizi yapılarak külün kükürt yüzdesi bulunur.

Baca gazına geçen kükürt oranı (yanıcı kükürt), Eş. 1.1'deki formülle hesaplanır.

$$S(\%) = S_B - \frac{KxS_K}{B} \quad (1.1)$$

Burada;

- S (%) : Baca gazına geçen kükürt oranı (yanıcı kükürt),
- B : Sobada ya da TGA cihazında yakılan kömür briketi (numune) kütlesi (g),
- K : Sobada ya da TGA cihazında kalan külün kütlesi (g),
- S_B : Kömür briketinin toplam kükürt yüzdesi,
- S_K : Sobada ya da TGA cihazında kalan külün kükürt yüzdesidir.

EK – 2 Orjinal alt ısı hesabı

ASTM D 5865 standardına göre deneyi yapılan numunenin orijinal üst ısı ve TS 690'a göre orjinal nemi belirlenir. Orijinal alt ısı, Eş. 2.1'deki formülle hesaplanır.

$$\text{Orj.KAID} = \text{Orj.K.Üst Isı} - 51,5 \times \left[\frac{5,5 \times (100 - \text{Orj.Nem})}{100} + (0,1119 \times \text{Orj.Nem}) \right] \quad (2.1)$$

Burada;

Orj.KAID : Orjinal kömürde alt ısı değeri (cal/g),

Orj.K.Üst Isı : Orjinal kömürde üst ısı değeri (cal/g),

Orj.Nem : Orijinal kömürde nem (%) değeridir.

EK – 3 Briket numunelerinin düşme ve aşınma sağlamlığı deneyleri için orijinal briketlerin ortalama boyutunun hesaplanması

Düşme sağlamlığı ve aşınma sağlamlığı deneyleri için köşeleri kırılmamış ve bölünmemiş 10 adet briket seçilmiş ve kumpas ile yumurta şekilli briketlerde uzun eksenin orta noktasında bu eksene dik olan en uzun boyut ölçülmüştür. Bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak orijinal briketlerin ortalama boyutu (ℓ) bulunmuştur.

Çizelge 3.1. Düşme sağlamlığı ve aşınma sağlamlığı deneyleri için ortalama briket boyutunun bulunması

	Ölçüm, mm										Ortalama ℓ , mm
1.Briket	38	39	38	36	38	39	36	37	36	37	37,4
2.Briket	38	39	38	38	39	37	39	37	39	37	38,1
3.Briket	34	40	38	38	36	37	38	40	38	36	37,5
4.Briket	38	39	38	37	38	39	38	39	38	40	38,4
5.Briket	39	39	40	39	38	39	40	40	41	41	39,6
6.Briket	37	33	36	32	38	37	33	30	33	34	34,3
7.Briket	34	37	35	35	33	37	34	34	34	35	34,8
7/2.Briket	32	32	30	34	33	30	35	35	30	33	32,4
8.Briket	39	37	39	38	39	38	38	40	40	39	38,7
9.Briket	38	40	37	37	38	38	39	39	38	37	38,1
10.Briket	40	40	39	38	39	40	38	40	38	39	39,1

EK – 4 Briket numunelerinin düşme ve aşınma sağlamlığı deneyleri sonundaki ortalama tane boyunun hesaplanması

Düşme ve aşınma sağlamlığı deneyleri sonrasında yapılan elek analizinde numunenin her bir elek üzerinde kalan yüzdesi bulunmuştur (C_i). Elek serisi içerisinde birbirini takip eden iki elek arasında kalan numunenin ortalama tane boyu, bu iki eleğin açıklıklarının aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur ($\ell_{ort,i}$). Elek serisinde en küçük elek açıklığı 0, ($i=0$ için), en büyük elek açıklığı orijinal briket boyu ℓ ($\lambda+1$ için) alınmıştır. Numunenin düşme ve aşınma sağlamlığı deneylerinden sonraki ortalama tane boyu Eş. 4.1’den hesaplanmıştır.

$$\lambda_{ort} = \frac{\sum_{i=0}^{\lambda+1} c_i \lambda_{ort,i}}{100} \quad (4.1)$$

Burada;

λ : Elek sayısı

ℓ_{ort} : Numunenin düşme ve aşınma sağlamlığı deneylerinden sonraki ortalama tane boyu (mm)

c_i : i ’inci elek üzerinde kalan, $i+1$ ’inci elekten geçen numunenin kütle yüzdesi

$\ell_{ort,i}$: i ’inci ve $i+1$ ’inci eleklerin açıklıklarının ortalaması (mm)’dir.

EK – 4 (Devam) Briket numunelerinin düşme ve aşınma sağlamlığı deneyleri
sonundaki ortalama tane boyunun hesaplanması

Düşme sağlamlığı testi

Örnek 1

Toplam=5 kg =5000 g

Elek Boyutları (mm)	Ağırlık (g)	C _i , %
31,5	1160	23,20
25	666,3	13,33
20	224	4,48
16	138,8	2,78
10	200,8	4,02
5	573,6	11,47
0	2036,5	40,73

$$\ell_{ort} = 16,27 \text{ mm}$$

$$\ell = 37,4 \text{ mm}$$

$$\text{Düşme Stabilitesi (\%)} = (\ell_{ort} / \ell) \times 100$$

$$\text{Düşme Stabilitesi (\%)} = 43,50$$

Aşınma sağlamlığı testi

Örnek 1

	Deney 1 Toplam = 250,8 g		Deney 2 Toplam = 258,9 g		Deney 3 Toplam = 251,4 g	
Elek Boyutları (mm)	Ağırlık (g)	Kütlece Yüzde %	Ağırlık (g)	Kütlece Yüzde %	Ağırlık (g)	Kütlece Yüzde %
5,0	18,7	7,46	22,8	8,81	22,1	8,79
2	85,5	34,09	87,6	33,84	83,8	33,33
1	86,8	34,61	77,4	29,90	78,2	31,11
0,5	29,8	11,88	37,6	14,52	38,2	15,19
0,25	15,7	6,26	18,6	7,18	14,8	5,89
0	14,3	5,70	14,9	5,76	14,3	5,69
	$\ell_{ort1} = 3,61$		$\ell_{ort2} = 3,87$		$\ell_{ort3} = 3,87$	

EK – 4 (Devam) Briket numunelerinin düşme ve aşınma sağlamlığı deneyleri
sonundaki ortalama tane boyunun hesaplanması

$$\ell_{\text{ort}} = 3,78$$

$$\ell = 37,4$$

$$\text{Aşınma Stabilitesi (\%)} = (\ell_{\text{ort}} / \ell) \times 100$$

$$\text{Aşınma Stabilitesi (\%)} = 10,11$$

Kırılma sağlamlığı testi

Örnek 1

Toplam 11 Adet Briket

Deney	To Kırılma Sağlamlığı kgf
1	11,6
2	10,1
3	9,7
4	12,1
5	11,7
6	12,8
7	8,2
8	14,8
9	7,6
10	9,2
11	9,2
Ort.(kgf)=10,64	
Kırılma Sağlamlığı = 10,64 kgf	

Suya dayanım testi

Örnek 1

Toplam 10 Adet Briket

Deney	Ts Kırılma Sağlamlığı kgf
1	2,69
2	1,8
3	1,32
4	1,57
5	2,64
6	3
7	2,61
8	1,6
9	2,01
10	2,46
Ort.(kgf)=2,17	
Suya Dayanım Yüzdesi (%) = $Ts/T_{ox} \times 100$ = $2,17/10,64 \times 100$	
Suya Dayanım Yüzdesi (%) = 20,4	

EK – 5 TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada
Kullanılan

ÖNSÖZ

- Bu standard, Türk Standardları Enstitüsü'nün Maden Hazırlık Grubu'na hazırlanmış ve TSE Teknik Kurulu'nun 8 Nisan 1996 tarihli toplantısında kabul edilerek yayımına karar verilmiştir.
- Bu standardın hazırlanmasında, milli ihtiyaç ve imkanlarımız ön planda olmak üzere, milletlerarası standartlar ve ekonomik ilişkilerimiz bulunan yabancı ülkelerin standartlarındaki esaslar da gözönünde bulundurularak; yarar görülen hallerde, olabilen yakınlık ve benzerliklerin sağlanmasına ve bu esasların, ülkemiz şartları ile bağdaştırılmasına çalışılmıştır.
- Bu standard son şeklini almadan önce; bilimsel kuruluşlar, üretici, imalatçı ve tüketici durumundaki konunun ilgilileri ile gerekli işbirliği yapılmış ve alınan görüşlere göre olgunlaştırılmıştır.

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri
Isıtmada Kullanılan

KÖMÜR BRİKETİ - EV VE BENZERİ YERLERİ ISITMADA KULLANILAN

0 - KONU, TARİF, KAPSAM

0.1 - KONU

Bu standard, ev ve benzeri yerlerin ısıtılmasında kullanılan kömür briketlerinin, tarifine, sınıflandırma ve özelliklerine, numune alma, muayene ve deneyleri ile piyasaya arz şekline dairdir.

0.2 – TARİFLER

0.2.1 - Kömür Briketi

Kömür briketi, ince tanecikli ve/veya toz halindeki kömürlerin sağlam, homojen yapılı, düzgün şekilli ve boyutlu parça yakıt haline dönüştürülmüş şeklidir.

0.2.2 - Bağlayıcılı Kömür Briketi

Bağlayıcılı kömür briket, ince tanecikli ve/veya toz halindeki kömürlerin bir bağlayıcı kullanılarak ve/veya briket özelliklerine etki edecek katkı maddesi ilave edilerek, sağlam ve homojen özellikte parça yakıt haline dönüştürülmesiyle elde edilen kömür briketidir.

0.2.3 - Bağlayıcısız Kömür Briketi

Bağlayıcısız briket, ince tanecikli ve/veya toz halindeki kömürlerin hiçbir bağlayıcı ve katkı maddesi kullanmadan, sağlam ve homojen özellikte parça yakıt haline dönüştürülmesiyle elde edilen kömür briketidir.

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada Kullanılan

0.2.4 - Baca Gazına Geçen Kükürt

Baca gazına geçen kükürt, TS 49001'a uygun bir sobada ısı verimin en az %75 olduğu yakma şartlarında baca gazıyla atılan kükürt olup, yakılan kömür briketinin yüzdesi olarak ifade edilir.

0.2.5 - Duman Emisyonu Miktarı

Duman emisyon miktarı kömür briketinin TS 4900'a uygun bir sobada, bu standarda uygun ısı verim deney şartlarında yakılması sonucu baca gazlarıyla atılan katı partikül, is ve filtre kağıdında tutulabilen yanmamış hidrokarbon ve/veya aerosolların bir kg yakılan kömür briketi başına gram olarak miktarıdır.

0.3 – KAPSAM

Bu standard, kömürlerden bağlayıcılı veya bağlayıcısız olarak üretilen ve içerisinde bağlayıcı ve katkı maddesi oranları toplam %30'u geçmeyen, ısınma amacıyla soba ve kalorifer kazanlarında kullanılan, çevre ve insan sağlığı için zararlı olduğu ve kullanılamayacağı yetkili mercilerce belirtilmiş bağlayıcı ve katkı maddeleri ihtiva etmeyen kömür briketlerini kapsar.

1 - SINIFLANDIRMA VE ÖZELLİKLER

1.1- SINIFLANDIRMA

1.1.1 – Sınıflar

Kömür briketleri Çizelge 1'de verilen özelliklerine göre, Sınıf 1 ve Sınıf 2 olmak üzere iki sınıftır.

1.2 – ÖZELLİKLER

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri
Isıtmada Kullanılan

1.2.1 – Görünüş

Kömür briketleri, şekil ve görünüm açısından homojen olmalı, yanmayı olumsuz yönde etkileyecek yabancı madde ve gözle farkedilebilecek oranda rutubet ihtiva etmemelidir.

1.2.2 - Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Kömür briketlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1’de verilen değerlere uygun olmalıdır.

ÇİZELGE 1 - Kömür Briketlerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Özellik		Sınıf 1	Sınıf 2
Alt ısı değeri ¹⁾ (kcal/kg), en az		5000	4000
Baca gazına geçen kükürt oranı (%), m/m, en fazla		0,8	1,0
Düşme sağlamlığı (%) m/m, en az		90	80
Aşınma sağlamlığı (%) m/m, en az		75	65
Kırılma sağlamlığı	Yastık veya yumurta şeklindeki briketlerde (kgf), en az	80	60
	Tabanı düzgün geometrik şekilli briketlerde (kg/cm ²), en az	130	100
Suya dayanım ²⁾ (%), en az		70	70
Isıl verimi (%), en az		75	75
Duman emisyon oranı (g/kg), en fazla		8	12
1) Bu özellik, orijinal (satışa sunulan) briket bazındadır.			
2) Su geçirmeyen torbalar içerisinde satılan briketlerde bu özellik aranmaz.			

1.3 - BOYUT VE TOLERANSLAR

Briketlerin tane boyu 25 mm ile 75 mm arasında olmalıdır. 25 mm’nin altı, en fazla %2 oranında olmalıdır. Alıcı ile satıcı arasındaki anlaşmaya bağlı olarak, daha farklı boyutta briket de üretilebilir.

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri
Isıtmada Kullanılan

1.4 - ÖZELLİK, MUAYENE VE DENEYLER

Bu standardda belirtilen özellikler ile bunların muayene ve deneylerine ait madde numaraları Çizelge 2’de verilmiştir.

ÇİZELGE 2 - Özellik, Muayene ve Deney Madde Numaraları

Sıra No	Özellik	Özellik Madde No	Muayene ve Deney Madde No
1	Görünüş	1.2.1	2.2.1
2	Boyut ve Toleranslar	1.3	2.2.2
3	Alt Isı Değeri	1.2.2	2.3.2
4	Baca Gazıyla Atılan Kükürt	1.2.2	2.3.4
5	Düşme Sağlamlığı	1.2.2	2.3.5
6	Aşınma Sağlamlığı	1.2.2	2.3.6
7	Kırılma Sağlamlığı	1.2.2	2.3.8
8	Suya Dayanım	1.2.2	2.3.7
9	Isıl Verimi	1.2.2	2.3.3
	Duman Emisyon Oranı	1.2.2	2.3.9
	Ambalajlama ve İşaretler	-	3.1,.3.2

2 - NUMUNE ALMA, MUAYENE VE DENEYLER

2.1 - NUMUNE ALMA

2.1.1 - Parti

Parti, bir defada muayeneye sunulan, aynı sınıftaki briketler bir parti sayılır.

2.1.2 - Numune Sayısı ve Miktarı

Ambalajlı olarak piyasaya sunulan briket partisinden alınacak ambalaj sayısı Çizelge 3’e uygun olmalıdır.

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri
Isıtmada Kullanılan

ÇİZELGE 3 - Partiden Alınacak Ambalaj Sayısı

Partideki Ambalaj Sayısı (N)	Numune Almak İçin Ayrılacak Ambalaj Sayısı (n)
50'ye kadar	2
51 - 150	5
151 - 500	13
501 - 3200	31
3201'den çok	50

2.1.3 - Numune Alınacak Ambalajların Ayrılması

Partideki ambalajlar sıralanır ve herhangi bir ambalajdan başlamak üzere 1, 2, 3,.....N şeklinde numaralanır. Daha sonra herhangi bir torbadan başlanarak ve numara sırası izlenerek r tane ambalaj sayılır ve son sayılan ambalaj numune olarak ayrılır. Sayma ve ayırma işlemi n tane numune tamamlanıncaya kadar sürdürülür. r sayısı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$r = \frac{N}{n}$$

Burada;

N: Partideki ambalaj sayısı

n: Çizelge 3'e göre numune alınmak üzere ayrılacak ambalaj sayısıdır.

r : Sayının ondalıklı olması halinde en yakın tam sayıya tamamlanır.

2.1.4 - Ambalajlardan Numune Alınması

Çizelge 3'de belirtilen sayıda ayrılan ambalajların herbirinden eşit ve yeterli miktarda numune alınarak muayene ve deneylere yetecek miktarda deney numunesi ayrılır. Numune kaplarına konularak hava sızdırmayacak şekilde ağızları kapatılır.

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada Kullanılan

2.1.5 - Dökme Olarak Piyasaya Sunulan Briketten Numune Alınması

Dökme olarak piyasaya sunulan briketlerden alınacak numune miktarı ve numune alma işlemi TS 2390’a göre yapılır.

2.2 – MUAYENELER

2.2.1 Gözle Muayene

Numuneler gözle muayene edilerek yabancı madde bulunup, bulunmadığına, ambalajlı olarak piyasaya arz olunanlarda ambalajların Madde 3.1 ve Madde 3.2’ye uygun olup olmadığına bakılır.

2.2.2 - Boyut Muayenesi

Briketlerin boyutu TS 1726’a göre tayin edilir. Kullanılan elek göz açıklıkları TS 1225, TS 1226, TS 1227, ve TS 4538’de verilen esaslara uygun olmalıdır. Deney sonucunun Madde 1.3’e uygun olup olmadığına bakılır.

2.3 – DENEYLER

2.3.1 - Genel Kural

–Tayinler en az iki numune ile ve paralel olarak yapılmalıdır.

–Deneysel hata sınırları içinde birbiriyle uyumlu değerler veren iki paralel tayinin aritmetik ortalaması sonuç olarak verilmelidir.

2.3.2 - Alt Isı Değerinin Tayini

Alt Isı Değerinin Tayini TS 2678’e göre yapılır ve sonucun Madde 1.2.2’e uygun olup olmadığına bakılır.

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada Kullanılan

2.3.3 - Isıl Verim Tayini

Isıl verim tayini, kömür briketlerinden TS 711'e göre tayin edilen ve kuru bazda uçucu madde oranı %12'den küçük olanları, TS 4900'e uygun alttan yakmalı tuğlalı döküm sobada, %12'den büyük olanları ise TS 4900'e uygun üstten yakmalı kovalı sobada, TS 4900'deki ısı verim tayini deney esaslarına göre yapılır ve sonucun Madde 1.2.2'ye uygun olup olmadığına bakılır.

2.3.4 - Baca Gazına Geçen Kükürt Oranı Tayini

Madde 2.1'e uygun olarak alınan kömür briketi numunelerinden analiz numunesi alınarak, numunede TS 440 veya TS 363'e göre toplam kükürt analizi yapılır. (SB) - TS 4900'e göre sobaya yüklenecek kömür briketinin kütlesi tartılır (B). Kömür briketi en az %75 soba ısı verimi elde edecek şekilde yakılır. Yanma bittikten sonra külün soğuması beklenir. Sobada kalan külün tamamı bir kaba alınarak tartılır (K). Alınan kül 0,25 mm'nin altına geçecek şekilde öğütülür, karıştırılarak analiz numunesi alınır. Bu numunede TS 440 veya TS 363'e göre kükürt analizi yapılarak külün kükürt yüzdesi (SK) bulunur.

Baca gazına geçen kükürt oranı, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$S (\%) = S_B - \frac{K \times S_K}{B}$$

Burada;

S (%) : Baca gazına geçen kükürt oranı,

B : Sobada yakılan kömür briketi kütlesi (g),

K : Sobada kalan külün kütlesi (g),

SB : Kömür briketinin toplam kükürt yüzdesi,

SK : Sobada kalan külün kükürt yüzdesidir.

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada Kullanılan

2.3.5 - Düşme Sağlamlığının Tayini

2.3.5.1 - Cihaz ve Malzemeler

- Düşme sağlamlığı tayin cihazı (Şekil 1),
- Elekler, 5 mm, 10 mm, 16 mm, 20 mm, 25 mm, 35,5 mm, 40 mm, 50 mm, 63 mm, 71 mm göz açıklıklı, yuvarlak delikli TS 1226'ya uygun,
- Kumpas 1 mm hassasiyetle ölçüm yapabilen,
- Terazi, 10 kg kapasiteli 2 g hassasiyetle tartım yapabilen.

2.3.5.2 - Deney Numunesi

Madde 2.1'e göre alınmış numuneden, köşeleri kırılmamış ve bölünmemiş olanlardan en az 5 kg briket deney numunesi olarak alınır.

2.3.5.3 - İşlem

Madde 2.3.5.2'ye göre alınmış deney numunesinden 10 adet briket seçilir. Kumpas ile silindir şeklindeki briketlerde çapı, diğer şekillerdeki (yumurta, yastık prizma vb) briketlerde uzun eksenin orta noktasında bu eksene dik olan en uzun boyut ölçülür. Bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak orijinal briketlerin ortalama boyutu (ℓ) bulunur.

Madde 2.3.5.2'ye göre alınmış deney numunesinden yaklaşık 5 kg tartılır.(a). Düşme sağlamlığı tayin cihazının kapağı açılarak numune 30 cm x 30 cm x 30 cm ebadında oluşturulan üst kutuya yerleştirilir. Alt sürgülü kapak çıkartılır. Üst sürgülü kapak hızla çekilerek numunenin 120 cm yükseklikten tabana düşmesi sağlanır, alt sürgülü kapak yerine yerleştirilir. Numunenin altta oluşan 30 cm x 30 cm x 30 cm ebadındaki alt kutu içerisinde kalması sağlanır. Aletin tamamı 180° döndürülerek altta oluşan kutu üste alınır. Sürgülü kapak hızla çıkartılarak numunenin ikinci defa 120 cm yükseklikten tabana düşmesi sağlanır. Bu işlem, numune altı defa aynı yükseklikten düşecek şekilde tekrarlanır. Kapak açılarak deneye tabi tutulmuş numune bir kaba

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada Kullanılan

alınır, elek analizi yapılır. Elek analizi 35 mm'den büyük briketlerde 10 mm, 20 mm, 31,5 mm, 40 mm, 50 mm, 63 mm ve 71 mm.lik, 35 mm'den küçük briketlerde ise 5 mm, 10 mm, 16 mm, 20 mm, 25 mm ve 31,5 mm.lik yuvarlak göz açıklıklı eleklerde yapılır. Herbir elek üzerinde kalan kısım tartılır (mi). En küçük eleğin altında kalan kısım ise numunenin toplam kütesinden, elekler üzerinde kalanların toplam kütlesi çıkartılarak bulunur

2.3.5.4 - Hesaplama ve Sonuçların Gösterilmesi

Madde 2.3.5.3'e göre yapılan elek analizinde numunenin herbir elek üzerinde kalan kısmının kütlece yüzdesi bulunur (C_i). Elek serisi içerisinde birbirini takip eden iki elek arasında kalan numunenin ortalama tane boyu, bu iki eleğin açıklıklarının aritmetik ortalaması alınarak bulunur ($\ell_{ort,i}$). Elek serisinde en küçük elek açıklığı 0, ($i=0$ için), en büyük elek açıklığı orijinal briket boyu ℓ ($\lambda+1$ için) alınır. Numunenin düşme sağlamlığı deneyinden sonraki ortalama tane boyu (ℓ_{ort}) aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\ell_{ort} = \frac{\sum_{i=0}^{\lambda+1} C_i \ell_{ort,i}}{100}$$

Burada;

λ : Elek sayısı

ℓ_{ort} : Numunenin düşme sağlamlığı deneyinden sonraki ortalama tane boyu (mm)

c_i : i'inci elek üzerinde kalan, i + 1'inci elekten geçen numunenin kütle yüzdesi

$\ell_{ort,i}$: i'inci ve i + 1'inci eleklerin açıklıklarının ortalaması (mm)'dir.

Düşme sağlamlığı stabilitesi ise aşağıdaki formülden hesaplanır.

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada Kullanılan

$$\text{Düşme Stabillitesi (\%)} = \frac{\ell_{\text{ort}}}{\ell} \times 100$$

Bulunan düşme stabillitesi yüzdesi en yakın tam sayı olarak verilir. Bulunan sonucun Madde 1.2.2'e uygun olup olmadığına bakılır.

2.3.6 - Aşınma Sağlamlığının Tayini

2.3.6.1 - Cihaz ve Malzemeler

- Tambur (Şekil 2)
- Elekler, 5 mm, 10 mm, 16 mm, 20 mm, 25 mm, 31,5 mm, 35,5 mm, 40 mm, 50 mm, 63 mm, 71 mm göz açıklı, yuvarlak delikli
- Kumpas, 1 mm hassasiyetle ölçüm yapabilen
- Terazî 10 kg kapasiteli 2 g hassasiyetle tartım yapabilen

2.3.6.2 - Deney Numunesi

Madde 2.1'e göre alınmış numuneden, köşeleri kırılmamış, bölünmemiş olanlarından en az 5 kg briket, deney numunesi olarak ayrılır.

2.3.6.3 - İşlem

Madde 2.3.6.2'ye göre alınmış olan deney numunesi içerisinde rastgele 10 adet briket seçilir. Kumpas ile silindir şeklindeki briketlerde çap, diğer şekillerdeki (yumurta, yastık, prizma vb) briketlerde uzun eksenini orta noktasında bu eksene dik olan en uzun boyut ölçülür. Bu ölçümlerin ortalaması alınarak orjinal briketlerin ortalama boyutu bulunur (ℓ).

Hazırlanmış deney numunesi (a) tamburun kapağı açılarak tambura yerleştirilir. Tambur 25 devir/dakika hızda, toplam 100 devir yapacak şekilde döndürülür. Tamburda çevrilmiş briketler boşaltma kabına alınır. Madde 2.3.5.3'te olduğu gibi

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada Kullanılan

elek analizi yapılır. Her bir elek üzerinde kalan kısım tartılır. (mi) En küçük eleğin altında kalan kısım ise numunenin toplam kütesinden, eleklerin üzerindeki kalanların toplam kütesi çıkartılarak bulunur.

2.3.6.4 - Hesaplama ve Sonuçların Gösterilmesi

Numunenin aşınma sağlamlığı, Madde 2.3.6.3'te bulunan elek analiz sonuçları kullanılarak, Madde 2.3.5.4'de düşme stabilitesinde olduğu gibi hesaplanarak bulunur. Sonucun Madde 1.2.2'e uygun olup olmadığına bakılır.

2.3.7 - Kırılma Sağlamlığının Tayini

2.3.7.1 - Cihaz

–Paralel iki levhalı hidrolik pres,

2.3.7.2 - Deney Numunesi

Madde 1.2.1'e göre muayenesi yapılmış, Madde 2.1'e göre alınmış numuneden üzerinde çatlaklar bulunmayan, köşeleri kırılmamış ve bölünmemiş 10 adet briket rasgele seçilerek deney numunesi olarak ayrılır.

2.3.7.3 - İşlem

Yastık ve yumurta şeklindeki briketlerde nokta kırılma sağlamlığı, tabanı düzgün geometrik şekilli briketlerde ise basınca dayanım kırılma sağlamlığı olarak ölçülür. Madde 2.3.8.2'ye göre alınan briketler ayrı ayrı hidrolik presin paralel iki levhası arasına Şekil (3)'de verildiği şekilde yerleştirilir. Pres çalıştırılarak briketin kırılma noktası presin uyguladığı yükü gösteren kadrandan tespit edilir. Bu şekilde 10 adet briket kırılarak bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınır. Bu değer Madde 1.2.2'ye uygun olup olmadığına bakılır.

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada Kullanılan

2.3.8 - Suya Dayanımın Tayini

2.3.8.1 - Cihaz ve Malzemeler

- Paralel iki levhalı hidrolik pres

2.3.8.2 - Deney Numunesi

Madde 1.2.1'e göre muayenesi yapılmış, Madde 2.1'e göre alınmış numuneden, üzerinde çatlaklar bulunmayan, köşeleri kırılmamış ve bölünmemiş 20 adet briket rasgele seçilerek deney numunesi olarak ayrılır

2.3.8.3 - İşlem

Madde 2.3.7.2'ye göre alınmış 20 adet briketin 10 adedi, ayrı ayrı tamamı su içinde kalacak şekilde beherlerin içine konulur. Briketler, toplam 1 saat su içinde bırakılır. Daha sonra sudan çıkarılan briketler, yüzeydeki su süzildükten sonra doğrudan kırma testine tabi tutulur. Suya atılmamış 10 adet orijinal briket ile, su içinde tutulan ve daha sonra kurutulan briketler, aynı yüzeylerinden hidrolik presin birbirine yaklaşan paralel iki levhası arasına konularak ayrı ayrı kırılır. Kırılma değerleri T_s ve T_o olarak presten okunarak kaydedilir. Suya atılan ve orijinal briketlerin ölçülen kırılma sağlamlıklarının aritmetik ortalamaları alınır.

2.3.8.4 - Hesaplamalar ve Sonuçların Gösterilmesi

Suya dayanım yüzdesi aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$\text{Suya Dayanım yüzdesi (\%)} = \frac{T_s}{T_o} \times 100$$

Burada;

T_s : Suya atılan briketlerin ortalama kırılma değeri (Kgf)

T_o : Orijinal briketlerin ortalama kırılma değeri (Kgf)'dir.

Sonucun Madde 1.2.2'e uygun olup olmadığına bakılır.

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada Kullanılan

2.3.9 - Duman Emisyon Oranının Tayini

Duman emisyonu tayini, Madde 2.3.3’de verilen ısı verim tayini deneyi ile birlikte yapılır. TS 4900 Soba ısı verim tayini deney şartlarında bacadaki duman emisyon hızı ISO 9096’ya göre ölçülür.

2.3.9.1 - Hesaplamalar ve Sonuçların Gösterilmesi

Duman emisyon miktarı aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$D = \frac{D_H \times T}{M} \text{ g/kg}$$

Burada;

D : Duman emisyon miktarı g Duman/kg kömür briketi,

D_H : Kömür briketinin sobada yakılması ile bacada ölçülen duman emisyon hızı (g Duman/saat)

M : Sobada TS 4900’e göre yakılan kömür briketi kütlesi (kg)’dır

T : Deney Süresi (saat)

Sonucun Madde 1.2.2’ye uygun olup olmadığına bakılır.

2.4 - DEĞERLENDİRME

Muayene ve deney sonuçları Çizelge 1’e göre değerlendirilir. Çizelge 1’de sınıflara ait özelliklerden bir tanesi bile alt sınıfa giriyorsa, kömür briketi bir alt sınıfa dahil edilir. Muayene ve deneylerde herhangi bir özelliğin Çizelge 1’deki değerlere uymaması durumunda parti standarda aykırı sayılır.

2.5 - MUAYENE VE DENEY RAPORU

Muayene ve deney raporunda en az aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır:

–Muayenenin ve deneyin yapıldığı yer ve laboratuvarın adı,

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada Kullanılan

- Deneyi yapan ve/veya raporu imzalayan yetkililerin adları, görev ve meslekleri,
- Muayene ve deney tarih ve numarası,
- Numunenin tanıtılması,
- Muayene ve deneyde uygulanan standartların numaraları,
- Sonuçların gösterilmesi,
- Uygulanan muayene ve deney metotlarında belirtilmeyen veya mecburi görülmeyen, fakat muayene ve deneyde yer almış işlemler,
- Standarda uygun olup olmadığı
- Rapor tarih ve numarası

3- PİYASAYA ARZ

3.1 AMBALAJLAMA

Briketler, dökme veya plastik, kraft vb. gibi suya dayanıklı, su geçirmez malzemelerden yapılmış torbalar halinde piyasaya arz edilir. Torba ağızları dikişli olmalıdır. Torbalar halinde piyasaya arz edilen briketler için kütle toleransı % (± 2)’dir.

3.2 İŞARETLEME

Ambalajlı olarak piyasaya arz edilen briketlerde ambalaj üzerinde kolayca okunacak ve silinmeyecek şekilde, en az aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır:

- Piyasaya sunan firmanın ticaret unvanı veya kısa adı, adresi veya varsa tescilli markası,

Ambalajlar üzerine taşıma ve depolama için tavsiyeler de yazılabilir.

- Bu standardın işareti ve numarası (TS.....şeklinde)
- Briketin sınıfı
- Ambalajın net kütlesi
- Katkı ve/veya Bağlayıcı

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri
Isıtmada Kullanılan

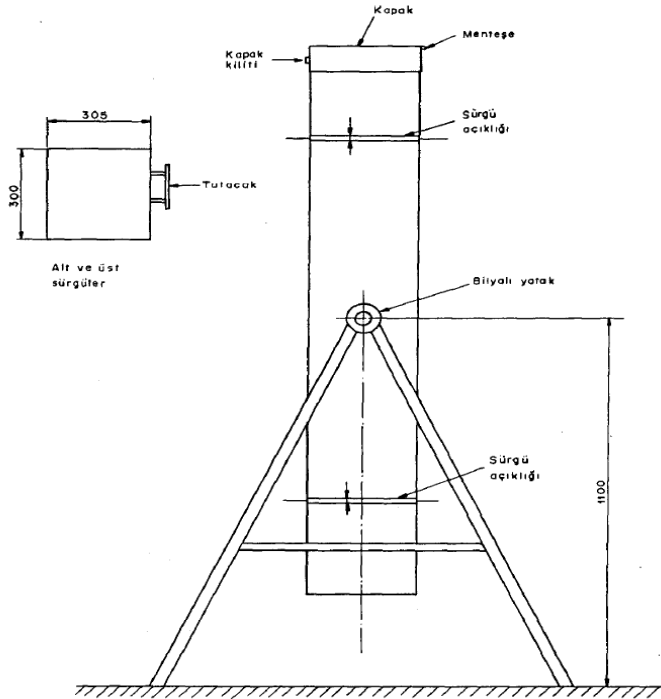
4 - ÇEŞİTLİ HÜKÜMLER

İmalatçı veya satıcı, bu standarda uygun olarak imal edildiğini beyan ettiği briket için, istendiğinde, standarda uygunluk beyannamesi vermek veya göstermek mecburiyetindedir. Bu beyannamede satış konusu briketin:

- Madde 1.2.2’deki özelliklerde olduğunun,
- Madde 2.2’deki muayene ve deneylerin yapılmış ve uygun sonuç alınmış bulunduğunun, belirtilmesi gerekir.

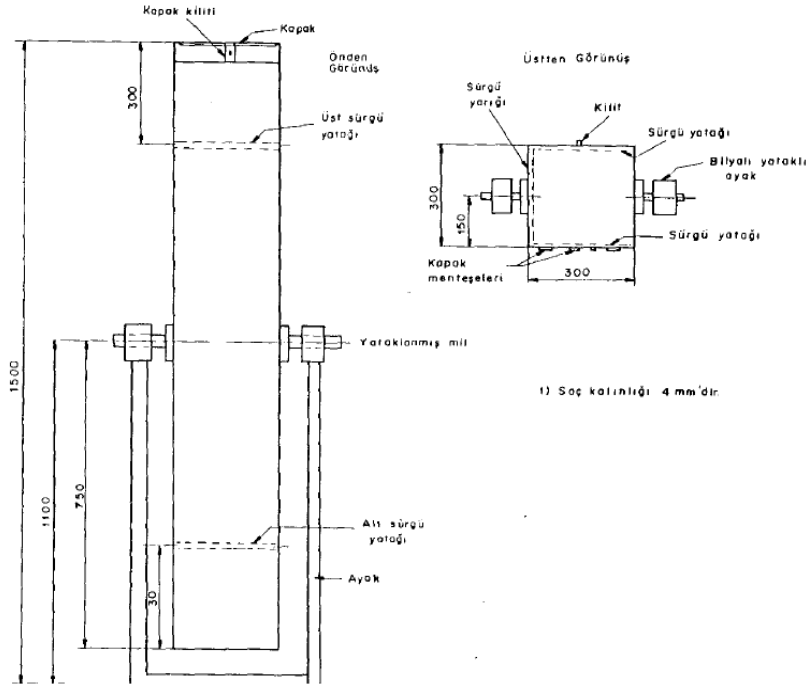
YARARLANILAN KAYNAKLAR

- M. A. Eliot Chemistry of Coal Utilization chap 11 John Wiley and Sons, Inc, 1981
- ASTM D441 - 45 Tumbler Test for Coal
- ASTM D440 - 49 Drop Shatler Test for Coal
- DIN 23081 Steinkohlen - Brikett fabriken

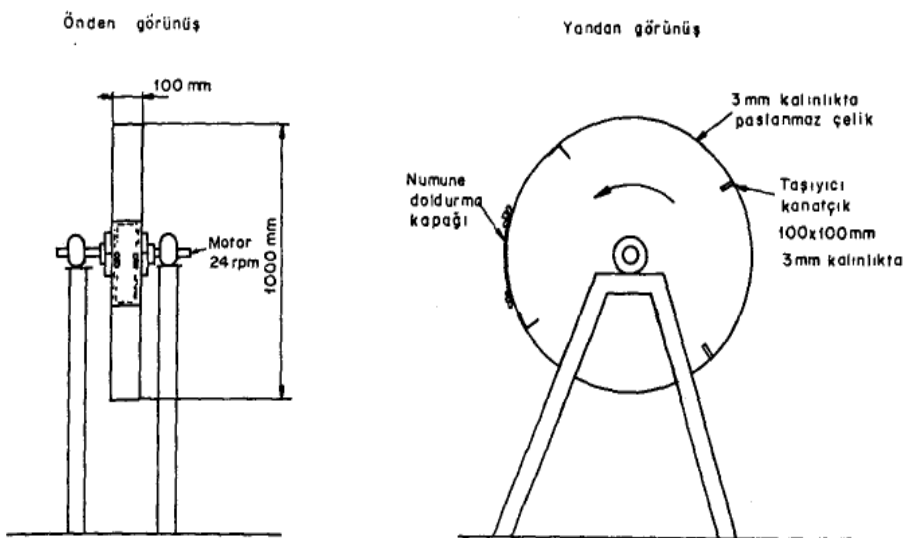


ŞEKİL 1.A - Düşme Sağlamlığı Tayin Cihazının Yandan Görünümü

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri
Isıtmada Kullanılan

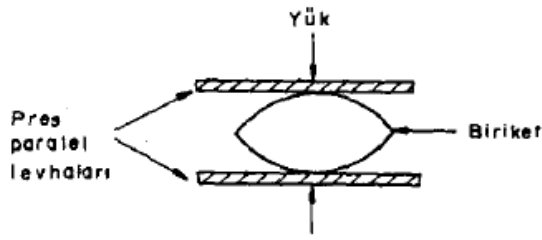


ŞEKİL 1.B - Düşme Sağlamlığı Tayin Cihazının Önden Görünüşü

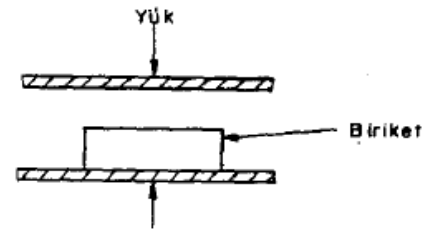


ŞEKİL 2 - Aşınma Dayanım Testi İçin Tambur Cihazı

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri
Isıtmada Kullanılan



ŞEKİL 3a - Yastık ve Yumurta Şekilli
Briketlerin Kırma Deneyinde
Konumu



ŞEKİL 3b - Tabanı Düzgün Geometrik
Şekilli Briketlerin Kırma
Deneyinde Konumu

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri
Isıtmada Kullanılan

ATIF YAPILAN STANDARTLAR

REFERENCES

TS 2390/Nisan 1976	Kömürden Numune Alma. <i>“Hard Coal - Sampling”</i>
TS 1726/Haziran 1974	Taşkömürü Tane Büyüklüğü Analizi. <i>“Hard Coals - Size Analysis”</i>
TS 1225/Nisan 1985	Deney Elekleri - Elek Göz ve Delik Açıklıklarının Nominal Büyüklükleri. <i>“Test Sieves - Nominal Sizes of Apertures”</i>
TS 1226/Nisan 1985	Deney Elekleri - Metal Levhalı Yuvarlak veya Kare Delikli. <i>“Test Sieves of Round and Square Perforated Metal Plate”</i>
TS 1227/Nisan 1985	Deney Elekleri - Tel Kafesli Kare Göz Açıklıklı. <i>“Test Sieves - Metal Wire Cloth with Square Opening”</i>
TS 4538/Haziran 1985	Elekler Sanayide Kullanılan - Telden ve Delikli Levhadan Yapılan - Göz Açıklığı Nominal Büyüklükleri. <i>“Wire Screens and Plate Screens for Industrial Purposes – Nominal Sizes of Apertures”</i>
TS 2678/Nisan 1977	Katı Mineral Yakıtların Üst ve Alt Isı Değerlerinin Bombalı Kalorimetre Yöntemi ile Tayini. <i>“Determination of Gross Calorific Value By the Calorimetric. Bomb Method and Calculation of Net Calorific Value</i>
TS 4900/Mayıs 1986	Sobalar Katı Yakıt (kömür) Yakan. <i>“Stoves for Solid Fuel (Coal)”</i>

EK – 5 (Devam) TS 12055 / Nisan 1996 Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri
Isıtmada Kullanılan

TS 440/Ocak 1967	Maden Kömüründe Yüksek Sıcaklıkta Yakma Metodu ile Toplam Kükürt Tayini <i>“Determination of Total Sulphur in Coal by the High Temperature Combustion Method”</i>
TS 363/Haziran 1979	Eschka Metodu ile Maden Kömüründe Toplam Kükürt Tayini. <i>“Deter. of Total Sulp. in Coal By the Eschka Method”</i>
TS 711/Mart 1969	Taş Kömürü ve Kokta Ucucu Madde Tayini. <i>“Determination of the Volatile Matter of Hard Coal and The Coke”</i>
ISO 9096: 1992	Sabit Kaynak Emisyonları-Bacalarda Gaz İle Taşınan Partikül Maddelerin Kütlesel Akış Hızı ve Konsantrasyonun Tayini –Elle Gravimetrik Metot. <i>“Stationary source emissions -Determination of Concentration and mass flow rate of particulate material in gas carrying ducts-Manual gravimetric metod”</i>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : PARLAK, Ayfer
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 30.03.1979 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (274) 638 32 56
 Faks : 0 (274) 638 24 17
 e-mail : ayfer_parlak@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Kimya Mühendisliği Bölümü	2002
Lise	Çankırı Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-	TKİ Kurumu GLİ Müessesesi	Kimya Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap, Bilgisayar, Müzik.