

ALTERNATİF KATI YAKIT ÜRETİMİ

**2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

Tuba COŞKUN

ALTERNATİF KATI YAKIT ÜRETİMİ

Tuba COŞKUN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Ocak 2015

Tuba COŞKUN tarafından hazırlanan “ALTERNATİF KATI YAKIT ÜRETİMİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Sezayi YILMAZ

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 13/01/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. İlhan CEYLAN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Günay ÖZBAY (KBÜ)

..... / / 2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Tuba COŞKUN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALTERNATİF KATI YAKIT ÜRETİMİ

Tuba COŞKUN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Sezayi YILMAZ

Ocak 2015, 69 sayfa

Linyit kömürü, kalorisi düşük, kolay ufalanabilen, ülkemizde rezervi en yüksek fosil enerji kaynağımızdır. Aynı zamanda ülkemiz, biyokütle potansiyeli yüksek bir tarım ülkesidir. Ayrıca organik atıklardan enerji elde edilmesi uygulamaları da son yıllarda önem kazanmıştır.

Bu çalışmada, Soma linyit numunesi, bağlayıcı-katkı maddesi eklenmeden ve bağlayıcı-katkı maddesi eklenerek farklı basınç ve karışım oranlarında briketlenmiştir. Katkı maddesi olarak talaş, saman ve prina % 0 - 30 oranlarında linyite eklenmiştir. Bağlayıcı olarak melas ve filtre toprağı % 0 - 15 oranlarında kullanılmıştır. Filtre toprağının bağlayıcı etkisi olup olmadığı incelenmiştir.

Soma linyitine daha yüksek kalorifik değere sahip bitümlü Zonguldak Çatalağızı bölgesi taşkömürü karıştırılarak, biyokütle eşliğinde bağlayıcı eklenmeden ve

eklenerek briketlenmiştir. Ayrıca, %100 biyokütle içeren Prina, Talaş ve Saman briketleri de hazırlanmıştır.

Elde edilen tüm briketlerin mekanik dayanıklılığını belirlemek için düşme sağlamlığı ve suya dayanım deneyleri yapılmıştır. Yapılan düşme sağlamlığı testleri sonucunda, en yüksek düşme sağlamlığı değeri, 566 MPa basınçta bağdaştırıcı kullanılmadan %20 saman -%80 linyit karma briketinde, bağdaştırıcı kullanıldığında ise 566 MPa basınçta, %10 melas kullanımında, %20 bitümlü - %50 linyit - %20 talaş karma briketi karışımından elde edilmiştir. %100 biyokütle içeren numuneler içerisinde en yüksek düşme dayanımı ve suya dayanımı 708 MPa basınç altında saman numunesinden elde edilmiştir. Bitümlü kömürün linyit - biyokütle karışımına eklenmesiyle düşme sağlamlığı değerinin azaldığı belirlenmiştir. Filtre toprağının bağlayıcı etkisi olmadığı belirlenmiştir. Üretilen tüm briketlerin suya dayanımının zayıf olduğu tespit edilmiştir. Üretilen bazı briketlerin kalorifik değerleri karşılaştırıldığında ise %100 biyokütle içeren briketler arasında en yüksek değer %100 Prina briketine, karma briketler arasında ise %20 bitümlü - %20 talaş -%10 melas - %50 linyit karma briketine aittir. Ayrıca karma briketlerin S değerinin linyit ve bitümlü kömürün S değerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda, ülkemiz biyokütle kaynakları ile düşük kalorili linyit kömürünün , briketleme işlemi ile ısı değeri artırılabilen çevreyi daha az kirleten, daha sağlam alternatif bir katı yakıt haline dönüştürülebileceği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Linyit, biyokütle, bitümlü kömür, briketleme.

Bilim Kodu : 914.1.038

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ALTERNATIVE SOLID FUEL PRODUCTION

Tuba COŞKUN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy System Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

January 2015, 69 pages

Lignite coal has a low calorific value, easy friable structure and our highest source of fossil energy reserves in our country. At the same time, our country is an agricultural country where biomass potential is high.

In this study, Soma lignite sample, were briquetted at different pressures and mixing ratios with and without binder material and additive substance. Sawdust, straw and pomace are added to lignite as a additive % 0 - 30 percent. Melasses and defecation lime are used to as a binder material %0 - 15 percent. Defecation lime was investigated whether the binder material.

Çatalağzı Zonguldak bituminous coal which has higher calorific value was added to Soma lignite and was briquetted by biomass samples with or without binder material. Also 100% biomass containing pomace, sawdust and straw briquettes were also prepared.

Shatter index and water resistance tests were made of the all briquettes to determine the mechanical strength. The highest shatter index value, at 566 MPa pressure, was obtained from straw - lignite mixed briquettes without binder and bituminous-lignite-sawdust mixed briquettes with %10 melasses binder. The highest shatter index value and water resistance in the samples containing %100 biomass was obtained from straw briquettes. Adding bituminous coal to lignite-biomass mixture, It was determined that the shatter index decreases. It was determined that the defecation lime no binding effect. Water resistance of all manufactured briquettes was found to be poor. The calorific values of the briquettes, among the 100% biomass briquettes, the highest value pomace briquettes; among the mixed briquettes, the highest value bituminous mixed briquettes. In addition, it was found that the S value of the mixed briquettes lower than the original samples S values.

The results of this study, by using briquetting process, low-calorie lignite coal with biomass, can increase the calorific value of the lignite coal could be effectively transformed into a more robust, polluting less, alternative solid fossil fuels.

Key Word : Lignite, bituminous coal, biomass, briquetting.

Science Code : 914.1.038

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım, değerli Hocam, Sayın Doç. Dr. Sezayi YILMAZ 'a teşekkürlerimi sunarım.

Briket kalıbının tasarlanmasında ve briketleme işlemleri sırasındaki yardımlarından ötürü Sayın Öğr. Gör. Nafiz Yaşar'a, teknisyen Sayın Mehmet Alparslan'a teşekkür ederim.

Ankara Şeker Fabrikası Kimya Mühendisi Sayın Aliye YILMAZ' a numune temini konusundaki yardımlarından ötürü teşekkür ederim. Numunelerin kimyasal analizi konusundaki yardımlarından dolayı, Kimya Mühendisi Sayın Gülüm ÖZDUMAN' a, Kimya Mühendisi Sayın Figen DİKİLİTAŞ' a, öğretim üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Çiğdem KADI' ya, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Laboratuar sorumlusu Kimyager Sayın Dr. Ayşegül EFENDİOĞLU ÇELİK' e, Demir Çelik Enstitüsü Müdür Yardımcısı Sayın Yrd. Doç. Dr. Erkan KOÇ' a, Araş. Gör. Sayın Savaş AĞDUK' a teşekkür ederim. Literatür kaynak temini konusundaki yardımlarından ötürü Sayın Ayşe EKİCİ'ye teşekkür ederim

Tez izleme komitesindeki Sayın Hocam Doç. Dr. İlhan Ceylan'a, kıymetli görüş ve önerileri ile tezime katkıda bulunan Sayın Hocam Yrd. Doç Dr. Günay ÖZBAY'a teşekkür ederim.

Eşime, Kızıma, Anne ve Babama, aileme manevi destekleri için teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tez çalışması Karabük Üniversitesi tarafından KBU-BAP-14/1 YL-008 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	4
KÖMÜR ve BİYOKÜTLE	4
2.1. KÖMÜR	4
2.1.1. Kömürün Kimyasal Yapısı	5
2.1.2. Linyit Kömürü	6
2.1.3. Taşkömürü	7
2.2. BİYOKÜTLE	8
2.2.1. Biyokütlenin Kimyasal Yapısı	11
2.2.2. Türkiye'nin Biyokütle Potansiyeli	12
BÖLÜM 3.	16
KÖMÜRÜN BRİKETLENMESİ	16
3.1. BRİKETLENMENİN TANIMI VE YARARLARI	16
3.2. BRİKETLEME TEORİLERİ	17
3.3. KÖMÜRÜN BRİKETLENMESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	18
3.3.1. Kömürün Petrografik Özellikleri	19
3.3.2. Kömürün Yapısal Özellikler	19

	<u>Sayfa</u>
3.3.3. Kömürün Nem İçeriği	20
3.3.4. Kömürün Tanecik Boyutu	20
3.3.5. Presleme Basıncı ve Süresi	20
3.3.6. Briketleme Sıcaklığı	21
3.3.7. Briketin Şekli ve Ağırlığı	21
3.3.8. Katkı Maddesinin Özelliği	22
3.3.9. Briketlerin Gözenekliliği	22
3.3.10. Kömürün Kurutulma Şartları	23
3.3.11. Isıl İşlem	23
3.4. BRİKETLERİN SAHİP OLMASI GEREKEN ÖZELLİKLER	23
3.4.1. Düşme Sağlamlığı Değeri	24
3.4.2. Kırılma Sağlamlığı Değeri	24
3.4.3. Ufalanma Sağlamlığı Değeri	25
3.4.4. Briketlerin Suyu Dayanımı	25
3.5. BRİKETLEME İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	26
BÖLÜM 4.	31
BİYOKÜTLENİN BRİKETLENMESİ	31
4.1. BİYOKÜTLE BRİKETLEME YÖNTEMLERİ	32
4.2. BİYOKÜTLENİN BRİKETLEMESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	35
BÖLÜM 5.	36
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	36
5.1. KÖMÜR VE BİYOKÜTLE NUMUNELERİNİN TANITIMI	36
5.2. NUMUNELERE UYGULANAN ANALİZLER	37
5.3. BRİKETLEME DENEYLERİNDE KULLANILAN CİHAZLAR	38
5.4. BRİKETLERE UYGULANAN TESTLER	40
5.4.1. Düşme Sağlamlığı Testi	40
5.4.2. Suyu Dayanım Testi	40
BÖLÜM 6.	42
BULGULAR VE TARTIŞMA	42

Sayfa

6.1. KÖMÜR, BİYOKÜTLE NUMUNELERİNİN ANALİZ SONUÇLARI.....	42
6.2. BRİKETLEME BASINCININ DÜŞME SAĞLAMLIĞINA ETKİSİ	44
6.3. BRİKETLEME BASINCININ SUYA DAYANIKLILIĞA ETKİSİ	47
6.4. BİYOKÜTLE KATKISININ DÜŞME SAĞLAMLIĞINA ETKİSİ	48
6.5. BİYOKÜTLE KATKISININ SUYA DAYANIKLILIĞA ETKİSİ	49
6.6. BAĞLAYICI KULLANIMININ LİNYİT - BİYOKÜTLE BRİKETLERİNİN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ	50
6.6.1. Melasın Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Etkileri	50
6.6.2. Filtre Toprağının Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Etkileri	52
6.7. BİTÜMLÜ KÖMÜR İLAVESİNİN LİNYİT - BİYOKÜTLE KARIŞIMLARINA ETKİLERİ	53
6.7.1. Bitümlü Kömür İlavesinin Linyit - Biyokütle Karışımlarının Düşme Sağlamlığına Etkisi	54
6.7.2. Bitümlü Kömür İlavesinin Linyit - Biyokütle Karışımlarının Suya Dayanıklılığına Etkisi	55
6.7.3. Bitümlü Kömür Linyit - Biyokütle Karışımlarına Melas İlave Edilmesinin Düşme Sağlamlığına Etkisi	55
6.8. ÜRETİLEN BRİKETLERİN KALORİFİK DEĞERLERİ	56
6.9. ÜRETİLEN BRİKETLERİN KÜKÜRT DEĞERLERİ	58
BÖLÜM 7.	61
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kömürlerin sınıflandırılması	4
Şekil 2.2. Linyit kömürü	7
Şekil.2.3. Biyokütle kullanımının CO ₂ salınımına etkisi	10
Şekil 3.1. Briket üretim basamakları	17
Şekil 3.2. Tabanı düzgün geometrik şekilli briketlerin kırma deneyinde konumu .	24
Şekil 3.3. Aşınma dayanım testi için tambur cihazı	25
Şekil 4.1. Biyokütleden briket üretim yöntemleri	32
Şekil 4.2. Soğutma düzenli konik helezon vidalı briketleme makinası	33
Şekil 4.3. Konik silindirli pistonlu tip briketleme makinası.....	33
Şekil 4.4. Biyokütle briketi üretimi şeması	34
Şekil 5.1. Briketlemede kullanılan paslanmaz çelik kalıp	38
Şekil 5.2. Briketlemede kullanılan kalıbın teknik resmi	38
Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan pres makinası	39
Şekil 5.4. Üretilen briket örnekleri	39
Şekil 5.5. Düşme sağlamlığı test düzeneği	40
Şekil 6.1. Linyit kümülatif elek analizi sonuçları	43
Şekil 6.2. Talaş kümülatif elek analizi sonucu	43
Şekil 6.3. Prina kümülatif elek analizi sonucu	44
Şekil 6.4. Saman kümülatif elek analizi sonucu	44
Şekil 6.5. Biyokütle numunelerinin düşme sağlamlığı test sonuçları	45
Şekil 6.6. Linyit numunesinin düşme sağlamlığı test sonuçları	46
Şekil 6.7. Linyit ve biyokütle numunelerinin suya dayanıklılık test sonuçları	47
Şekil 6.8. Biyokütle ilavesinin üretilen linyit-biyokütle karma briketlerinin düşme sağlamlığına etkisi	48
Şekil 6.9. Melasın bağlayıcı olarak kullanılmasının üretilen karma briketlerin düşme sağlamlığına etkileri	51
Şekil 6.10. Filtre toprağının bağlayıcı olarak kullanılmasının briketlerin düşme sağlamlığına etkisi	53

Sayfa

Şekil 6.11. Bitümlü kömür ilavesinin linyit-talaş karışımlarınındüşme sağlamlığına etkisi	54
Şekil 6.12. Bitümlü kömür - linyit - talaş- melas karışımlarının düşme sağlamlığına etkisi	56
Şekil 6.13. Biyokütle briketlerinin kalorifik değer sonuçları.....	57
Şekil 6.14. Linyit- biyokütle karma briketlerinin kalorifik değer sonuçları	58
Şekil 6.15. Üretilen briketlerin kükürt içerikleri	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin özellikleri	5
Çizelge 2.2. Biyokütle kaynakları kullanılan çevrim teknikleri ve bu teknikler kullanılarak elde edilen yakıtlar	11
Çizelge 2.3. Türkiye'deki biyokütle kuru atık potansiyelleri	14
Çizelge 6.1. Kömür örneklerinin kısa analiz sonuçları	42
Çizelge 6.2. Kömür örneklerinin üst ısıl değer sonuçları	42
Çizelge 6.3. Biyokütle örneklerinin kısa analiz sonuçları	42
Çizelge 6.4. Biyokütle numunelerinin literatür elementel analiz sonuçları	58
Çizelge 6.5. Üretilen briketlerin kükürt oranları	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: Karbon
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
H	: Hidrojen
kcal	: Kilokalori
kg	: Kilogram
kgf	: Kilogram kuvvet
KWh	: Kilowatt saat
MJ	: Megajoule
MPa	: Megapascal
MW	: Megawatt
N	: Azot
O	: Oksijen
PJ	: Pikojoule
S	: Kükürt

KISALTMALAR

AID	: Alt Isıl Değer
ASTM	: American Society for Testing Materials (Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu)
dmmf	: Dry mineral matter free (Kuru ve mineral maddesiz örnek)
daf	: Dry ash free (Kuru ve külsüz örnek)
EÜAŞ	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
maf	: Moisture ash free (Nemli ve külsüz örnek)
OYKA	: Ordu Yardımlaşma Kurumu

TSE : Türk Standartlar Enstitüsü
TTK : Türkiye Taşkömürü Kurumu
TKİ : Türkiye Kömür İşletmesi
ÜİD : Üst Isıl Değer

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ülkemizde, kül ve nem içerikleri yüksek, kalorifik değeri ise düşük olanlardan; kaliteli sayılacak linyitlere kadar, çok çeşitli linyit türleri bulunmaktadır. Maalesef düşük kalorifik değerli linyitlerin toplam rezervimiz içindeki payı daha yüksektir. Ülkemiz linyitlerinin yaklaşık 4,5 milyar tonluk (% 56) büyük bir bölümünün ısı değeri, 1000-1500 kcal/kg arasındadır. Isıl değeri 1500-2000 kcal/kg arasında değişen, 972 milyon ton (%12) linyit kömürü bulunmaktadır. Türkiye'de bulunan toplam linyitlerimizin %68 i düşük ısı değere sahip olup, ısı değeri 2000 kcal/kg 'ın altındadır [1].

Türk linyitleri, kırılğan 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 ulaşınca 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, nispeten 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 sistemlerinin de değerlendirilebilmesi için sunulan seçeneklerden biri, kömür tozlarının briketlenerek, sağlam ve tekdüze 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 [1]. Bu nedenlerle linyit kömürünün briketlenmesi hem ekonomik açıdan hem de çevrenin kirliliğinin önlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Linyitlerimizin toplam kükürt içeriği de dünya ortalamasının çok üzerindedir. Bilindiği gibi, linyit yakılması sonucu oluşan kükürtdioksit, atmosferdeki en önemli kirleticilerden biridir. Kömür tozlarının briketlenmesi sırasında kullanılabilen bazı katkı maddeleri sayesinde, kömürün içerdiği kükürtlü bileşiklerin, yanma esnasında tutulması mümkündür [1].

Birincil enerji kaynaklarında dışa bağımlılık Türkiye' de %72,6' dır . Fosil yakıt enerjisi kısıtlanınca, Türkiye, gelecek yıllarda, enerji kıtlığı, enerji fiyatlarında belirgin artış ve enerji güvensizliği ile yüz yüze kalacaktır. Bu sebeplerle, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin geliştirilmesi, Türkiye' nin sürdürülebilir ekonomik gelişimi için giderek artan şekilde önem kazanmaktadır [2].

Türkiye biyokütle materyal üretimi açısından, güneşlenme ve alan kullanılabilirliği, su kaynakları, iklim koşulları gibi özellikleri uygun olan bir ülkedir [2]. Türkiye'de tarla bitkilerinin yıllık atık miktarının toplam ısı değeri yaklaşık 228 PJ olarak belirlenmiştir. Bunun içinde en büyük payı %33.4 ile mısır, %27.6 ile buğday ve %18.1 ile pamuk almaktadır. Bahçe bitkileri yıllık atıklarının toplam ısı değeri yaklaşık 75 PJ' dür. Bunlar içerisinde ise en büyük payı %55.8 ile fındık ve %25.9 ile zeytin almaktadır. Türkiye'deki mevcut tarımsal ve hayvansal atık miktarının, Türkiye'nin enerji tüketiminin %22-27'sini karşılayabileceği tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, günümüzde enerji üretiminde biyolojik kökenli yakıtların gerçek rolü çok düşük düzeydedir [3].

Bu çalışmada tüvenan tipi Soma linyit kömürüne katkı maddesiz, katkı maddeli briketleme işlemi yapılmıştır. Katkı maddesi olarak talaş, saman ve prina kullanılmıştır. Talaş ve Samanın bağlayıcı özelliği de olduğu bilinmektedir. Biyokütle katkı maddeleri seçilirken kolay elde edilebilirlikleri ve ekonomik açıdan ucuz olmaları göz önüne alınmıştır. Kömür briketlerinin ısı değerini arttırmak amacıyla Zonguldak bölgesi taşkömürü linyit - biyokütle karışımına eklenerek briketlenebilirliği incelenmiştir. Bağlayıcı olarak şeker fabrikası atığı olan melas kullanılmıştır. Bir diğer şeker fabrikası atığı olan filtre toprağının ise bağlayıcı madde olarak kullanılabilirliği ve bağlayıcı özelliği olup olmadığı araştırılmıştır. Uygun basınç, biyokütle oranı ve bağlayıcı ilavesi ile üretilen briketlerin suya

dayanımı ve düşme sağlamlığı araştırılmıştır. Üretilen briketlerin kalorifik değerleri ve kükürt içerikleri analiz edilmiştir.

Bilindiği gibi fosil kaynaklara göre daha ucuz bir enerji kaynağı olan biyokütle enerjisinin, bir fosil kaynak olan kömürle karıştırılarak katı yakıt olarak, yada harmanlanarak ortak yakma işlemi ile termik santral vb. proseslerde kullanılması, ülkemizin enerji ihtiyacının karşılanması için bir alternatif olacaktır. Böylece, hem maliyet indirimi, hem de daha az çevresel kirlilik elde edilmiş olacaktır.

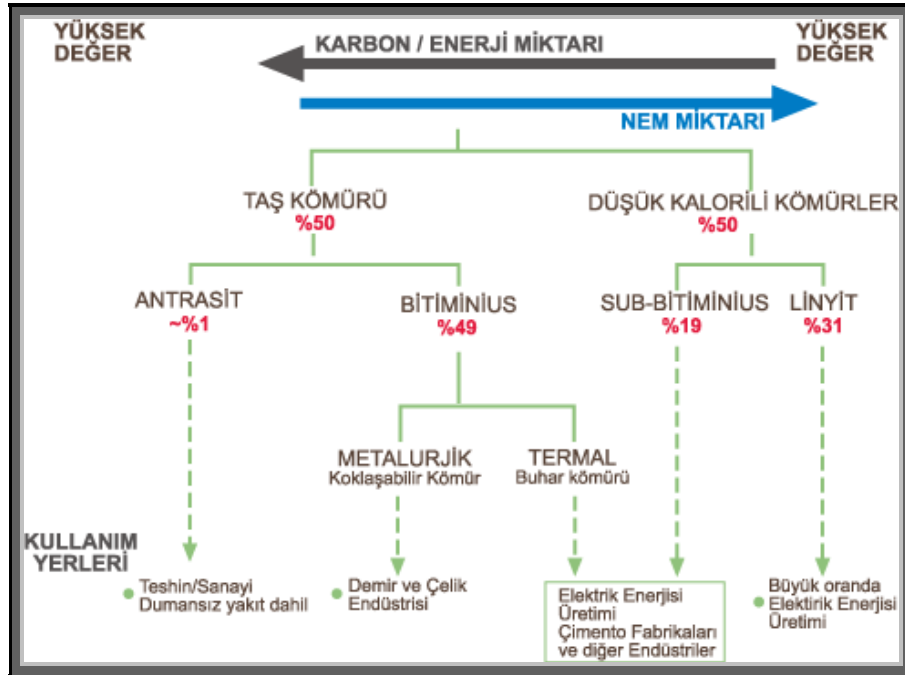
Bu çalışmada, kömür ve biyokütle karışımlarıyla alternatif katı bir yakıt üretmek, ülkemiz kömürlerinden daha temiz ve verimli enerji üretebilmek, yerli kaynakların enerji üretiminde kullanımını artırarak ekonomiye katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

KÖMÜR ve BİYOKÜTLE

2.1. KÖMÜR

Kömür, siyah, koyu gri veya kahverengi- siyah renkli, parlak veya mat bir katı fosil yakıt ve aynı zamanda sedimanter bir kayadır. Ağırlık olarak %50, hacim olarak da %70 den fazla kömürleşmiş bitki kalıntılarından oluşur. Organik madde yanında, daha az miktarda olmak üzere mineral madde, su ve gaz (CH₄, CO₂ gibi) kapsar. %50 den az organik madde kapsayan kayalar kömür olarak nitelendirilmemekte, bu gibi kayalara, çoğunluğu oluşturan mineral maddenin türüne göre, kömürlü kil, kömürlü silt gibi isimler verilmektedir [4]. Kömürlerin sınıflandırılması Şekil 2.1' de görülmektedir. Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin özellikleri Çizelge 2.1' de verilmiştir.



Şekil 2.1. Kömürlerin sınıflandırılması [4].

Çizelge 2.1. Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin özellikleri [5].

LİNYİT	ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER	BITİMLÜ KÖMÜRLER	ANTRASİT
Kahverengi	Siyah	Koyu siyah	Parlak siyah
Kırılgan, çabuk toz halinde ufalanma	Oksidasyonla veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde ufalanma	Bloksu kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsli doku	Masif	Bantlı ve koMPakt	Sert ve dayanıklı
Isıl değer; 4610 kcal/kg'ın altında	Isıl değer; 4610-6390 kcal/kg'ın arasında	Isıl değer; 5390-7700 kcal/kg'ın arasında	Isıl değer; 7000 kcal/kg'ın üzerinde
Uçucu madde miktarı ve nem içeriği yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü kömürlerden daha yüksek	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük	Uçucu madde ve nem içerikleri düşük
Düşük sabit karbon içeriği	Sabit karbon içeriği Bitümlü kömürden düşük	Sabit karbon içeriği yüksek	Sabit karbon içeriği Yüksek

2.1.1. Kömürün Kimyasal Yapısı

Kömür; çoğunlukla karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan az miktarda kükürt ve nitrojen içeren, kimyasal ve fiziksel olarak farklı yapıya sahip maden ve kayadır. Diğer içerikleri ise kül teşkil eden inorganik bileşikler ve mineral maddelerdir. Bazı kömürler ısıtılınca ergir ve plastik hale gelirler [5].

Kömürler , maseral adı verilen farklı organik bileşenlerden oluşurlar. Vitrinit, liptinit ve inertinit olmak üzere üç gruba ayrılır. Vitrinit grubu, kömürün en önemli bileşenidir. Vitrinitin özellikleri kömürleşme derecesi ile değişmektedir. Hüminit/vitrinit kahverengi kömürlerde genelde koyu gri, gri; bitümlü kömürlerde açık gri ve antrasitte beyaz renkte görülmektedir. Vitrinitler % 77-96 karbon, % 1-6 hidrojen, % 1-16 oksijen içermektedir. Uçucu madde oranları % 2-45'tir. Yoğunlukları 1,3-1,8 gr/cm³tür [6].

Liptinit grubu; protein, selüloz ve diğer hidrokarbonların bakterilerle bozunması sonucunda oluşan gruptur. Diğer iki maseral grubundan (vitrit ve inertinit) daha fazla hidrojen ve uçucu maddeye sahiptir. Yoğunluğu ve karbon içeriği ise daha düşüktür [6].

İnertinit grubu maseraller diğer iki maseral grubuna göre hidrojen açısından fakir, karbon açısından zengindir; daha az uçucu madde içeriğine ve daha yüksek yansıtma değerine sahiptir. Bu gruba inertinit ismi, koklaştırma gibi süreçlerde inert davrandığı için verilmiştir. Koklaştırma işleminde kömürün yapısındaki inertinit grubu kokun sağlamlığını arttırdığı için, bu işlem sırasında kömürün yapısında inertinit grubunun olması istenmektedir [6].

Çoğu kömürün yapısında, sadece organik madde yoktur; bir miktar mineral madde bulunmaktadır. İnorganik madde, belirli kristal yapısı olan katılar, boşluk suyu içerisinde çözülmüş tuzlar veya kömürlerin içinde bulunan organometalik bileşiklerdir. Kömür içinde 50-60 tür mineral olduğu gözlemlenmiştir. En önemli mineral grupları, killer, karbonatlar, kuvars ve demir mineralleridir. Diğerlerini büyük çoğunluğu %1'in altında olan mineraller oluşturmaktadır [6].

2.1.2. Linyit Kömürü

Linyit (lignite) adı, Latince odun anlamına gelen lignum sözcüğünden türetilmiştir. Siyah, koyu kahve renkli ve yumuşak bir kömürdür. Kahverengi kömür şeklinde de adlandırılır. Linyit, kömürleşme olayının ilk aşamasını temsil eden en düşük ranklı kömürdür. Bu nedenle bazı linyitlerde özgün bitki parçalarını çıplak gözle tanımak olanaklıdır. Yeraltındaki bir linyitin su (nem) oranı %30-70 dolayındadır. Havada uzun süre bekleyen linyit, suyunu kaybederek kolayca ufalanır hale gelir. Linyitin uçucu madde oranı da yüksektir. Kuru ve külünden arındırılmış örneklerde uçucu madde oranı %45'ten fazla, genellikle %52-64 arasındadır. Bu nedenle kendiliğinden kolayca tutuşabilen bir kömürdür. Dolayısıyla stoklanması, bazı özel önlemlerin alınmasını gerektirir. Uçucu madde oranı yüksek olduğu için fazla duman yayarak, uzun alevle yanan ve çevreyi en çok kirleten kömür çeşididir. Üst ısıl değeri, dmmf bazda, 4165 kcal/kg'dan (17.435 MJ/kg) küçüktür. Karbon (C) oranı ise % 60-70

kadardır. Linyit, koklaşmayan bir kömürdür. 2008 yılı rakamlarına göre dünyanın görünür linyit rezervleri, alt bitümlü kömürlerde birlikte toplam 414 milyar tondur [4].



Şekil 2.2. Linyit kömürü.

Linyit, Türkiye de en çok bulunan kömür çeşididir. 2009 yılı toplam linyit rezervimiz, yaklaşık 11,5 milyar tondur. Ülkemizdeki linyit üretimi; Enerji Sektörü (Termik Santral), Sanayi Sektörü ve Isınma 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 [7].

2.1.3. Taşkömürü

Taşkömürü, bitümlü kömür olarak da adlandırılır. Koyu gri-siyah renkli ve serttir. Birbirleriyle ardalanma sunan parlak ve mat bantlardan oluştuğu için bantlı bir yapıya sahiptir. Taşkömürü hava ile uzun süre temasta kalsa da düşük ranklı kömürler gibi ufalanmaz. Karbon oranı (daf) % 80-90 arasındadır. Kalorifik gücü maf bazda 5700 kcal/kg' dan büyüktür [8].

Bazı taşkömürleri kok üretimine uygundur. Bunlara koklaşabilir kömür denir. Özellikle Demir Çelik sanayiinde, yüksek fırınlarda kullanılabilir kalitede koklaşma özelliğine sahiptirler. Metalurjik kömür olarak da adlandırılırlar. Diğerleri ise bu

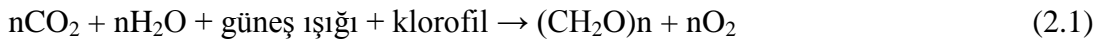
işlem için uygun olmayıp ancak termik santrallerde yakıt olarak kullanılmaya elverişlidir. Bu tür taşkömürlerine de buhar kömürü denilir [4].

Ülkemizde taşkömürü madenciliği Zonguldak Taşkömürü Havzasında TTK (Türkiye Taş Kömürü Kurumu) tarafından gerçekleştirilmektedir. Havzadaki taşkömürü üretimi, sağlıklı kayıtların mümkün olduğu 1941 yılından günümüze kadar 231 milyon ton, 1865 yılından günümüze kadar yaklaşık 400 milyon ton taşkömürü üretimi ile ülke kalkınmasında önemli bir yer almıştır [8].

2.2. BİYOKÜTLE

Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle genelde güneş enerjisini fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak da tanımlanabilir [6].

Bitkilerin fotosentezi sırasında kimyasal olarak özellikle selüloz şeklinde depo edilen ve daha sonra çeşitli şekillerde kullanılabilen bu enerjinin kaynağı güneştir. Karbondioksitin fotosentez yoluyla organik bileşiklere dönüştürülmesi sonucunda güneş enerjisi, biyokütlerde sabit karbon olarak depolanmaktadır. Bu adım formül 2.1'de denklemlerle gösterilmektedir [6].



CH_2O yapıtaşı ile gösterilen karbonhidratların oluşumu için yaklaşık 470 kJ enerji depolanmaktadır. Fotosentez yoluyla, enerji kaynağı olan organik maddeler sentezlenirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijen de atmosfere verilir [6].

Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji ihtiyacını çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan en önemlisi biyokütle enerjisidir. Biyokütle; tükenmez bir kaynak olması, her yerde

yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir [2].

Biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanımındaki olumlu yönleri;

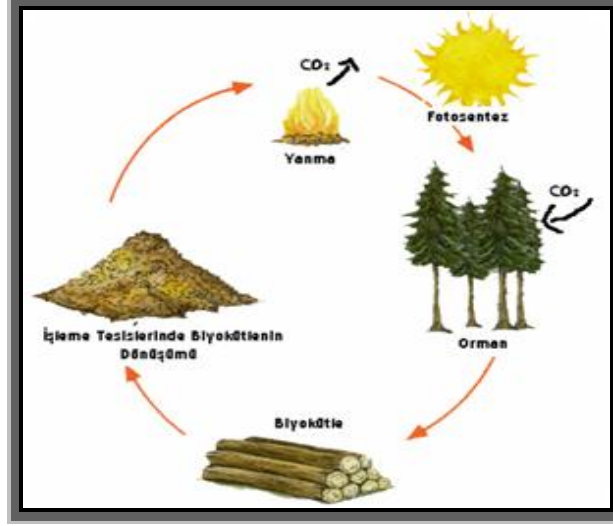
- Yenilenebilir enerji kaynağı olması,
- Hemen her yerde yetiştirilebilmesi,
- Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi,
- Her ölçekte verimli enerji üretimi için uygun olması,
- Düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması,
- Depolanabilir olması,
- Ucuz olması,
- 5-35 °C arasında sıcaklık gerektirmesi,
- Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemli olması,
- Çevre kirliliği oluşturmaması (NO_x ve SO₂ salınımlarının çok düşük olması)
- Kül içeriğinin az olması
- Sera etkisi oluşturmaması böylece atmosferde CO₂ dengesi sağlaması,
- Asit yağmurlarına yol açmamasıdır [6].

Biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanımındaki olumsuz yönleri

- Düşük çevrim verimine sahip olması,
- Tarım alanları için rekabet oluşturması,
- Su içeriğinin fazla olması,
- Genellikle homojen olmaması,
- Düşük yoğunluklu, fazla hacimli olduğundan taşıma, depolama ve yakma
- sırasında sorunlara neden olması,
- Yüksek taşımacılık maliyetinin olması [6].

Biyokütle'ye örnek olarak tüm organik çöpleri, hayvan atıkları, gübre ve sanayi atıkları sayılabilir. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezlenirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijen de atmosfere verilir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan,

biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, karbondioksit salınımı açısından korunmuş olacaktır [9]. Bu çevrim Şekil 2.3' te gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Biyokütle kullanımının CO₂ salınımına etkisi [9].

Biyokütle ya Türkiye’ de olduğu gibi doğrudan yakılmaktadır ya da çeşitli süreçlerde (havasız çürütme, piroliz, fermantasyon, gazlaştırma, hidroliz, biyofotoliz, esterleşme reaksiyonu) biyokütlenin yakıt kalitesi artırılıp alternatif biyoyakıtlar (biyogaz, çöp gazı, biyodizel, biyoetanol, sentetik yağ) üretilmektedir [2].

Biyokütle kaynakları kullanılan çevrim teknikleri, bu teknikler kullanılarak elde edilen yakıtlar ve uygulama alanları Çizelge 2.2 'de gösterilmiştir.

Ülkemizde bu çevrim tekniklerinin uygulandığı enerji üretim tesisleri son yıllarda faaliyete girmeye başlamıştır. Örneğin; 2008 yılında Çaycuma OYKA kağıt fabrikasında Türkiye’de odunsu biyokütle yakıtlı ilk enerji santrali elektrik üretimine başlamıştır. Kurulan santral 10 MW elektrik enerjisi üretme kapasitesine sahiptir. Enerji, kağıt hamuru yapımında değerlendirilemeyen odun talaşından elde edilmekte, kazanda üretilen buhar hem fabrikanın elektriğini hem de diğer endüstriyel işlemlerde ihtiyaç duyulan ısıyı üretmektedir [10].

Çizelge 2.2. Biyokütle kaynakları kullanılan çevrim teknikleri, bu teknikler kullanılarak elde edilen yakıtlar [11].

<i>Biyokütle</i>	<i>Çevrim Yöntemi</i>	<i>Yakıtlar</i>	<i>Uygulama Alanları</i>
Orman atıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik Üretimi, Isınma
Tarım atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma,Ulaşım araçları
Enerji Bitkileri	Doğrudan Yakma	Hidrojen	Isınma
Hayvansal atıklar	Fermantasyon,havasız çürütme	Metan	Ulaşım araçları,ısınma
Çöpler(organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
Algler	Hidroliz		Sentetik yağ
Enerji ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
Bitkisel ve hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Motorin	Ulaşım araçları, ısınma,seracılık

Bu çevrim teknikleri dışında, ortak yakma işlemi de pratik uygulaması olan bir teknolojidir. Yakıtlar katı, sıvı ya da gaz yakıtlar veya yapılarına göre fosil ya da yenilenebilir yakıtlar olabilir. Ortak yakmada odunsu biyokütle bir kömür santralinin destek yakıtı olarak kullanılabilir. Odunsu artıkların kullanılması, KWh başına yaklaşık 0,02 \$ maliyet indirimiyle birlikte kirlilik kaynaklarının azaltılmasını sağlar. Elektrik üretiminde biyokütle enerjisinin kömürle birlikte ortak kullanılmasının birçok faydası vardır. Biyokütle enerjisinin etkili bir biçimde kullanılması durumunda toplam enerji gelirlerinin %10 - %15 arasında bir oranda, arttırılabileceği kanıtlanmıştır. Ortak yakma net olarak sera gazlarının azaltılmasını, kükürtdioksit ve azotoksit salınımlarının daha düşük seviyelerde olmasını sağlar [10].

2.2.1. Biyokütlenin Kimyasal Yapısı

Yüksek molekül ağırlıklı karbonhidrat polimerler ve oligomerler (% 65-75) ve lignin (% 18-35) odunsu biyokütleyi oluşturan temel bileşenlerdir. Bunların yanı sıra düşük molekül ağırlıklı organik ve inorganik ekstraktifler odunsu biyoküttelede ağırlıkça % 4-10 arasında değişen oranlarda bulunur. Selüloz, hemiselülozlar ve lignin oranı biyokütlenin tipine göre farklılık göstermekle birlikte tüm biyokütleler bu üç temel öğeden oluşurlar [12]. Bunlar selüloz, hemiseliloz ve lignin'dir.

Odun ve odun gibi lifsel nitelik taşıyan diğer lignoselülozik bitkilerin hücre çeperlerinin iskeletini uzun molekül zincirlerinden meydana gelen ve doğal bir polimer olan selüloz oluşturmaktadır. Selüloz, pamuğun % 98'ini, yapraklı ve iğne yapraklı bitkilerin yaklaşık % 50'sini oluşturmaktadır. Hücre çeperinde polisakkaritlerin % 35-50'sini, toplam kuru ağırlığın % 20-35'ini hemiselülozlar oluşturmaktadır. Hemiselülozları selülozdan ayıran özellikleri; çok daha kısa moleküler zincirlere sahip olmaları, molekül zincirlerinin dallanmış halde olmaları ve çeşitli şeker birimlerinin bileşimi şeklinde olmalarıdır. Odunun en önemli bileşenlerinden biri olan lignin iğne yapraklı ağaç odunlarının %30'unu, yapraklı ağaç odunlarının da % 20'sini oluşturur. Fenilpropan birimlerinden oluşan lignin molekülleri üç boyutlu düzlemde dallanmış ve karmaşık yapıya sahip bir polimerdir [12].

2.2.2. Türkiye'nin Biyokütle Potansiyeli

Ülkemizdeki tarım artıklarından her yıl elde edilebilecek enerji potansiyeli 5,4 milyon ton petrole eşdeğerdir. Ayrıca, Orman Genel Müdürlüğü verilerine göre, endüstriyel olarak değerlendirilemeyen orman içi artıklarını enerji üretiminde kullanmak suretiyle Türkiye'nin enerji tüketimindeki yenilenebilir enerji payını yaklaşık %2 artırabilme kapasitesine sahiptir. Ülkemizde ağaç, orman ve sanayi atıkları olarak 5,9 milyon ton, hayvan atıkları olarak da 1,5 milyon ton petrol eşdeğerine karşılık gelen bir potansiyel bulunmaktadır. Bu enerjinin çok yönlü bir enerji kaynağı olarak doğrudan ısıtma ve aydınlatma amacıyla kullanıldığı gibi, elektrik enerjisine ve mekanik enerjiye çevrilme alternatifleri de mevcuttur [10,11].

Türkiye'deki biyokütle kuru atık potansiyelleri Çizelge 2.3' de verilmiştir [13]. Türkiye'deki biyokütle kuru atık potansiyelleri incelendiğinde tarımsal atıkların dağılımı şu şekildedir.

Türkiye'de pirinç üretiminden başta pirinç sapı olmak üzere % 38 oranında atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar tarlalarda anız olarak yakılmaktadır. Türkiye'de mısır üretiminden başta mısır koçanı ve sap kısmı olmak üzere % 34.5 oranında atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıklardan mısır koçanları, büyükbaş hayvan yemi olarak

değerlendirilmekte, geri kalan sap kısımları ise tarlalarda anız olarak yakılmaktadır. Türkiye'deki yıllık tütün üretiminin yaklaşık % 17'si atık olarak ortaya çıkmaktadır. Tarlada kalan tütünün sap kısımları anız olarak yakılmakta, fabrika üretim atıkları ise yakılarak tüketilmeye çalışılmaktadır. Türkiye'deki yıllık pamuk üretiminin yaklaşık % 27'si atık olarak ortaya çıkmaktadır ve atıklar genellikle ısıtma amaçlı olarak yakılmaktadır. Türkiye'de ayçiçek yağı üretiminden artakalan küspeler hayvan yemi olarak değerlendirilmekte, bitkinin sap kısımları ise atılmaktadır. Türkiye'nin yıllık fındık üretiminin yaklaşık % 50'si atık olarak ortaya çıkmaktadır. Atıklar genellikle katı yakıt olarak kullanılmaktadır [14].

Türkiye'de koyun, keçi ve büyükbaş hayvanlardan elde edilen yıllık toplam kuru atık miktarı 46 000 000 ton olup, bu miktarın % 10'u gübre olarak, % 30'u mera alanlarında, % 60'ı ise ısıtma ve yemek pişirme amaçlı kullanılmaktadır [14].

Türkiye'de, genel bir yaklaşımla kişi başına çöp miktarı günlük 500 g olarak alınabilir. Dolayısıyla bu yaklaşımdan yıllık atık miktarı yaklaşık 2 200 000 ton olarak hesaplanabilir. Yerleşim bölgelerinden kaynaklanan atık sularındaki organik maddeler; proteinler, hidrokarbonlar ve yağlar olmak üzere üç sınıfta incelenebilir.

Proteinler organik maddelerin % 40-50'sini oluşturur. Kanalizasyondaki organik madde miktarı yıllık 1 500 000 ton olarak hesap edilebilir. Bu organik maddelerin önemli bir bölümü doğrudan denizlere veya kanalizasyon kanalına verilerek değerlendirilmeden atılır [14].

Türkiye'deki biyokütle kuru atık potansiyelleri incelendiğinde gıda üretimi kaynaklı atıkların dağılımı şu şekildedir. Süt işletmelerinde elde edilebilecek en değerli atık peynir üretim prosesinde elde edilebilir. Bir kg peynir eldesi için ortalama 7,5 kg sıvı atık açığa çıkar. Yıllık atık miktarı ise 76 000 ton'dur. Bu atıkların protein içeriği yüksek olmasına rağmen, genellikle kanalizasyon sistemine verilmektedir [14].

Çizelge 2.3. Türkiye’deki biyokütle kuru atık potansiyelleri [13].

TARIMSAL ATIKLAR	Miktar (ton/yıl)
Pirinç	198 000
Mısır	690 000
Tütün	44 000
Şeker kamışı	956 000
Pamuk	1 500 000
Ayçiçeği	3 750 000
Fındık	300 000
HAYVANSAL ATIKLAR	46 000 000
KENTSEL ATIKLAR	
Çöpler	2 200 000
Kanalizasyon çamuru	1 500 000
GIDA VE DİĞER ENDÜSTRİ ATIKLARI	
Mezbaha atıkları	310 800
Süt işletmelerindeki atıklar	76 000
Meyve ve sebze işletmeleri atıkları	4 500
Yağ endüstrisi atıkları	56 100 000
Şeker endüstrisi atıkları	1 300 000
Alkollü içecekler atıkları	46 000
Diğer endüstriler (ağaç işleme) atıkları	649 000
Orman atıkları	1 417 000

Konservacilik işletmelerinde yıllık yaklaşık 2300 ton kuru atık ortaya çıkmaktadır. Türkiye’de toplam 4000 ton meyve suyu üretilmektedir. Bu üretimden 1100 ton’u kuru olmak üzere, 4500 ton atık ortaya çıkar. Bu atıklar yaş yem olarak satılır. Meyve çekirdekleri yakılarak değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Türkiye’nin yıllık salça üretimi 200 000 ton’dur. Bu üretimden ortaya çıkan atık miktarı 4 500 ton/yıl’dır. Bu atıkların besin değeri yüksek olduğundan, çiftçilere yem olarak satılır [14].

Pirina zeytinyağı fabrikalarının bir artığı olup, zeytinyağı üretiminden geriye kalan zeytin çekirdeği ve posasından oluşan bir katı atıktır. Yaklaşık yılda 610 000 ton zeytinin yağ üretim amaçlı islenmesi sonucunda 56 100 ton kuru atık elde edilir.

Ayrıca, yılda 915 000 ton siyah zeytin suyu atılır. Zeytinyağı üretiminden kalan posa yakılmaktadır [14].

Şeker fabrikalarında işleme sonucunda yılda toplam 936 750 m³ atık elde edilir. Bu atığın yaklaşık % 40'ı kuru maddedir. Yani yılda 375 000 ton kuru atık elde edilir. Bu atıklar gübre amaçlı kullanılabilir olmasına rağmen, genellikle atılmaktadır. Toplam şeker pancarı üretimi 2 700 000 ton olup, tarlada bırakılan atık miktarı ise 956.000 ton'dur. Şeker fabrikalarında ise 1 300 000 ton posa üretilmektedir. Bu atıklar yaş yem amaçlı satılmaktadır. Bir litre bira üretiminden yaklaşık 0,2 kg atık (% 20-25 kadarı kuru) elde edilir. Bu madde posa olarak adlandırılır ve yem amaçlı olarak satılmaktadır. Bira üretim prosesinden yılda elde edilen toplam atık miktarı 13 000 tondur. Şarap üretiminden elde edilen atık miktarı yılda 500 ton, rakı üretiminden elde edilen atık miktarı ise 3000 ton'dur. Şaraptan elde edilen posaların bir kısmı yem amaçlı satılırken, üzüm çekirdekleri yakılarak tüketilmeye çalışılmaktadır [14].

Türkiye'deki biyokütle kuru atık potansiyelleri incelendiğinde orman ürünleri kaynaklı atıkların dağılımı şu şekildedir. Türkiye'de yılda yaklaşık 5 010 000 m³ endüstriyel ağaç işlenmekte olup, bu procesten yılda 649 000 ton kuru ağaç atığı elde edilir. Bu ağaç atıkları ya yakılmakta ya da satılmaktadır. Türkiye'de yaklaşık 9 449 000 m³ tomruk işlenmekte olup, elde edilen toplam kuru atık miktarı ise 1 417 000 ton'dur. Bu atıklar genellikle orman arazisinde bırakılmaktadır [14].

BÖLÜM 3

KÖMÜRÜN BRİKETLENMESİ

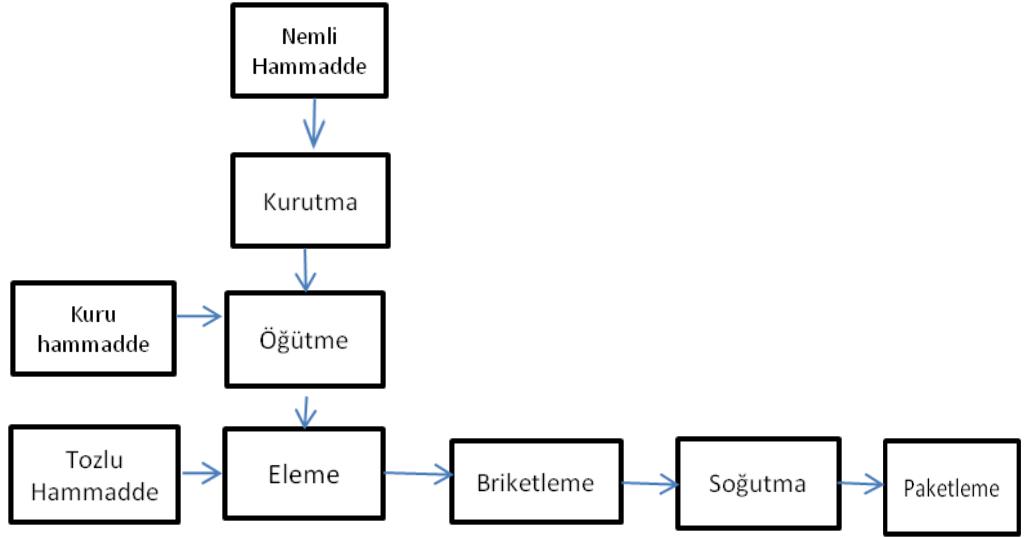
3.1. BRİKETLEMENİN TANIMI VE YARARLARI

Briketleme; toz halindeki kömürün, uygun şartlarda ısıtılma tabii tutarak yada tutmadan, 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. Kömürün briketlenmesinde iki ana amaç söz konusudur. Birincisi, yeterli ısıtılma değere sahip toz kömürleri değerlendirmek; ikincisi ise, yüksek su içerikleri nedeniyle tuvenan olarak yakılması güç olan kömürlerin, kurutma yoluyla ısıtılma değerlerinin artırılması ve arkasından, briketleme yöntemi ile yüksek ısıtılma değeri sağlam bir yakıt haline dönüştürülmesidir. Böylece kırılğan, çabuk tozlaşan, nem içeriği yüksek linyitler, ısıtılma değeri yüksek, sağlam bir yakıt halinde; toz veya ince taneli bitümlü ve yarı bitümlü kömürler de parça yakıt halinde değerlendirilebilmektedir [1]. Kömürü briketlemenin yararları kısaca şöyle özetlenebilir;

- 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 kömürünün, stokta kendi kendine tutuşmasının önlenmesi,
- ısıtılma değeri düşük, nem içeriği yüksek olan kömürler, briketleme öncesinde kurutularak ısıtılma değerlerinin artırılması,
- Belirli özelliklerde ve aynı kalitede yakıt üretilmesi,

- Briketleme sayesinde, kömür hacmi azaltılarak, depolama ve nakliyatta tasarruf sağlanması,
- Yığın içinde belirli porozite ve geçirgenliğin sağlanması, [1]

Briketleme işlemi Şekil 3.1' de gösterilen basamaklardan oluşmaktadır.



Şekil 3.1. Briket üretim basamakları [6].

3.2. BRİKETLEME TEORİLERİ

Briketlerin sağlamlığını, Kegel (1903), gözeneklerdeki suya; Scheithaver (1902) ve Fritzehe (1928) ise, bitümlerin tutma kuvvetine bağlamıştır. Hock (1934) ve Blumm (1934), kömür taneciklerinin birbirine bağlanmasında, hümik asidin, su filmine göre daha etkili olduğunu savunmuşlardır. Agde (1942), briketlemenin, tümüyle kömürün fiziksel yapısına bağlı olduğunu ileri sürmüştür [1].

Bu teorilerden en eskisi, kömürün bitüm içeriğine dayandırılan bitüm teorisidir. Bu teoriye göre; kömürün içinde, genel olarak, %4-10 arasında bulunan bitümler, yüksek presleme basıncı altında ve 80-100 °C sıcaklık aralığında yumuşatarak, kömür taneciklerinin etrafını ve briket yüzeyini kaplamak suretiyle bağlayıcı etkisi yapmaktadır. Küçük tanecikli kömürler ısıtıldığında, hem kömürün içerdiği bitümler daha kolay yumuşamakta, hem de bitümlerin kaplayacağı yüzey alanı arttığından, daha sağlam briketler elde edilmektedir [1].

Kömürün yapısı, çeşitli boyutlardaki kapillerleri ve nem içeriği ile bal peteği gibidir. Kömürün nem içeriğinin %12 'si mikron ve ondan daha küçük çaptaki kapillerlerinde, geri kalanı ise büyük çaplı gözeneklerde toplanmaktadır. Kapiler teorisine göre; kömür, kapilerindeki su, presleme esnasında basıncın etkisi ile dışarı çıkmakta ve tanelerin yüzeyini kaplayarak birbirleri ile temasını güçlendirmektedir. Basınç kalktığında, kapillerler eski haline dönerken, dışarı çıkan suyun ancak bir kısmı kapiler bünyesine geri dönmektedir. Geri kalan su ise, taneler arasında yakın teması sağlayan ve doğal katkı maddesi gibi vazife gören, ince bir film tabakası oluşturmaktadır. Böylece, katkı maddesi, kömürün kendi bünyesinden sağlanmış olmaktadır. Çok yüksek veya düşük miktarda nem içeren kömürleri, pratik olarak, briketlemek mümkün değildir. Briketleme konusunda faydalı ve pratik olan bu teoriye göre; ekster pres kullanıldığında, %5 nem içeren kömürler için 2000 kg/cm^2 'lik basınç uygulaması önerilmektedir [1].

Briketlemede, kömür taneciklerinin birbirine bağlanmasının moleküler enerji ile olan ilişkisi, Kegel tarafından araştırılmıştır. Kegel'e göre, kömürün tanecik boyutu küçülmesiyle artan yüzey alanı, kömür tanecikleri arasındaki teması artırdığından, moleküler enerjinin şiddetini de arttırmaktadır. Moleküler kuvvetlerden yararlanabilmek amacıyla, tanecik boyutu optimum değerde tutulmalıdır. Bu nedenle, katkı maddesiz briketlemede, küçük tanecik boyutlu kömür tercih edilmektedir. Tanecik boyutun belirlenmesindeki en önemli etken ise, kırma ve öğütme işlemlerinin maliyetleridir. Eğer, briketlemede iri taneli kömür kullanılırsa, uygulanan basıncın etkisiyle, bağlanma gerçekleşmeden önce, daha küçük tanecikler oluşmaktadır. Bu uygulama ise, briketleme süresinin uzamasına neden olmaktadır. Presleme süresinin kısalması, briketleme işleminin maliyetini olumlu yönde etkilediği için, kömür taneciklerinin , preslenmeden önce, optimum tanecik boyutuna getirilmesi gerekmektedir [1].

3.3. KÖMÜRÜN BRİKETLENMESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Briketleme, basit bir işlem olmayıp, birçok faktörü içeren karmaşık bir prosestir. Bu faktörlerin tümünün, her zaman aynı ölçüde etkili olduğu söylenemez. Uygulanacak briketleme yönteminin seçimi ve tekniğinin geliştirilmesi, kömürün fiziksel

özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle işleme başlamadan önce, briketlenmesi amaçlanan kömürün iyi tanınması gerekmektedir. Kömürün briketlenmesinde, petrografik özellikleri ve yapısı, içerdiği bitüm, nem ve mineral madde miktarları ile tanecik boyutu dağılımı önemli rol oynamaktadır. Ayrıca briketleme işleminde uygulanan presleme basıncı ve sıcaklığı ile briketleme süresi, briket şekli ve ağırlığı da üretilen briketlerin özelliklerini etkileyen faktörler arasındadır [1].

3.3.1. Kömürün Petrografik Özellikleri

Bir kömür örneği çıplak gözle incelendiğinde farklı bantlardan ya da mikroskopla incelendiğinde farklı kökene sahip organik maddelerden (maserallerden) oluştuğu görülebilmektedir. Kömür petrografisi, kömürü oluşturan bileşenleri tanımlamaya ve bunların miktarını belirlemeye çalışmaktadır [15]. Kömür petrografisinin ve kömürün yapısının, briketleme şartlarının anlaşılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

3.3.2. 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 [1].

Kömürün yapısının homojen olması da üretilen briketin sağlamlığı açısından çok önemlidir. Farklı plastik ve elastiki özelliğe sahip maseral grupları ve farklı özellikte kömür grupları içeren bir kömürden, elde edilecek briket, basınç kalkınca, kömür gruplarının farklı olarak genişmesi sonucu çatlar; hatta tekrar küçük parçalara ayrılabilir. Yumuşak linyitlerin briketlenme özellikleri çok daha iyidir. Ancak, genellikle yumuşak linyitlerin, kül içeriği yüksek ve kil içeriği ise fazladır. Bu da briketlenmenin etkinliğini azaltmaktadır. Antrasit ve taş kömürü, linyite göre çok daha zor briketlenmekte ve kullanılan briketleme sisteminde, bilhassa kırma esnasında, önemli ölçüde aşınmalara neden olmaktadır. 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 gr/cm³ arasında değişmektedir [1].

3.3.3. Kömürün Nem İçeriği

Kömürün nem içeriği, hem kömür - su ilişkisi özelliği, hem de kömür tanelerini birbirine yapıştırma özelliğinden dolayı önemlidir. Nem içeriği azaldıkça kömürleşme derecesi yükselmektedir. Kömürün sertliği, kömürleşme derecesiyle arttığı için, briketlenme özelliği azalmaktadır. 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 briketlenme yönteminde, eğer sıvı katı maddesi kullanılacaksa , katkı maddesinden kaynaklanan su miktarını da göz önüne almak gerekmektedir [1].

3.3.4. Kömürün Tanecik Boyutu

Briketlemede, büyük taneler arasındaki boşlukları doldurabilecek miktarda küçük tanelerin de bulunması gerekmektedir. Pratik olarak, kömür %60' ı 1 mm nin altında olacak şekilde , 0-4 mm tane büyüklüğüne kadar öğütülmektedir. Briketlenecek karışımda fazla ince kömür tozlarının bulunması da istenmeyen bir durumdur [1].

3.3.5. Presleme Basıncı ve Süresi

Presleme basıncı, kullanılan kömürün özellikleri ile uygulanan briketleme yöntemine bağlıdır. Basınç, kömür taneleri arasındaki mesafeyi azaltarak birbirlerine yaklaşmalarını sağlamak ve tanecik yüzeylerinin temas olayını artırmaktadır.

Tanelerin kırılıp yerlerinin değişmesi sonucunda boşluklar dolmaktadır. Ancak tanecikler birbiriyle daha sıkı temas ettirilerek, briket dayanıklılığının artırılması açısından, presleme basıncı, optimum değerde seçilmelidir. Briketleme basıncı yükseldikçe, elastik deformasyon sonucu, briket sağlamlığı artmaktadır; ancak basınç belli bir değerin üzerine çıktığında ise, plastik deformasyonun geri dönüşlü olması nedeniyle briketlerin birden genleşmesi, çatlaklar oluşturarak sağlamlığı azaltmaktadır. Genel olarak briketlemede kullanılan basınçlar 900-1800 kg/cm² arasında değişmektedir [1].

3.3.6. Briketleme Sıcaklığı

Kömürün briketlenmesinde, uygulanan sıcaklık çok önemlidir. Presleme sıcaklığı arttıkça, taneleri birbirine bağlayan kuvvetler daha aktif hale geldiğinden, briketin sağlamlığı da artmaktadır. Ancak, belirli bir sıcaklığın üzerine çıkıldığında, oluşan briketin nem içeriği azalmakta ve böylece tanecikler arası kuvvetler zayıflamaktadır. Ayrıca, aşırı buharlaşma sonucu briket yapısında çatlaklar oluşmaktadır. Presleme sıcaklığı, kömürün nem içeriğine de bağlıdır. Nem oranı yükseldikçe, optimum sıcaklık düşmektedir. Katkı maddesiz briketlemede kullanılan nem oranları % 10-20, presleme sıcaklığı 60-90°C arasında değişmektedir [1].

3.3.7. Briketin Şekli ve Ağırlığı

Üretilecek briketler, kullanım amacına göre değişik şekillerde hazırlanabilmektedir. Briketin şekli, yapıldığı kalıbın biçiminden ibarettir. Büyük briketler düşerken kinetik enerjileri artacağından, kırılma ve parçalanma olasılığı daha yüksektir. Köseli şekillerdeki briketlerin sürtünme ile ufalanma olasılığı daha fazla olduğundan, genel olarak silindir, yumurta veya yastık şeklindeki briketler tercih edilmektedir. Ekster pres kullanılarak üretilen briketler, dikdörtgen seklinde, merdaneli presle üretilenler ise genellikle yastık veya yumurta şeklindedir [1].

3.3.8. Katkı Maddesinin Özelliği

Genellikle katkı maddesiz ve soğuk briketleme daha ekonomik ve basit olduğu için tercih edilir. Ancak briketlerin istenen bazı özelliklerini iyileştirmek için katkı maddesi kullanmak gerekir. Katkı maddesinin homojen karışması ve kömürle daha iyi bir yapı teşkil etmesi istenir. Bazı durumlarda kömüre plastiklik özelliğini kazandırmak için katkı maddesiz sıcak briketleme de uygulanabilir [16].

Kömürün katkı maddeli briketlenmesinde, uygun bağlayıcının seçimi son derece önemli olup aşığıdaki özellikleri bulundurması arzu edilir:

- Üstün bağlama özelliği
- Kolay dağılma
- Çabuk sertleşme
- Suda çözünmemesi
- Preslenecek madde ile kimyasal yatkınlık
- Yanıcı özellikler ve çabuk tutuşma
- Yanma sırasında çevreye ve insan sağlığına zararlı etkileri olmaması
- Ekonomik olması [16].

Pres kömür üretiminde bağlayıcı olarak çok çeşitli maddeler kullanılmıştır. İlk üretimin yapıldığı yıllarda petrol kökenli bağlayıcılar tek tek veya karışım olarak uzunca bir süre kullanılmış, ancak daha sonraki yönetmeliklerde yasaklanmıştır [17]. Klasik katkı maddeleri arasında katran, zift, asfalt, bitüm, balmumu türevleri, sülfid likörü, melas, saman, lignin, selüloz, kil, çimento, zeytin küspesi, zamklar, yağlar ve diğer organik kökenli yapıştırıcı maddeler sayılabilir [16].

3.3.9. Briketlerin Gözenekliliği

Gözeneklilik, briketin hem sağlamlığını hem de yanma özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir. Gözeneklilik genç kömürlerde yüksek olup, kömürleşme derecesi arttıkça önce azalmakta, sonra bir miktar yükselmektedir. İyi sıkıştırılan sağlam briketlerde gözeneklilik, sıkıştırılmamış zayıf briketlere nazaran daha düşüktür.

Yanma özellikleri açısından önemli olan gözeneklilik, özellikle fazla küllü kömürlerden yapılan briketlerde yanmayı kontrol etmektedir. Linyitlerde gözeneklilik % 25-30, antrasitlerde ise % 10-12 civarındadır [1].

3.3.10. Kömürün Kurutulma Şartları

Katkı maddesiz briketlemede, kömürün kurutma şartları önemlidir. Buhar atmosferinde daha yavaş ve homojen olarak kurutulan kömürler, sağlam briket vermektedir. Sıcak gaz atmosferinde kuruma çok hızlı olmakta ve kömür tanelerinin dış yüzeyleri gerekenden fazla kuruyup sertleşmektedir [1].

3.3.11. Isıl İşlem

Katkı maddeli briketleme yönteminde, özellikle bağlayıcı olarak sülfid likörü veya melas kullanıldığında, elde edilen briketlere ısıl işlem uygulanması suya dayanıklılıklarını artırmaktadır. Koklaşma kabiliyeti olan kömürlerin, sadece ısıtılmakla plastik hale gelebildiği görülmüştür. Daha sonra yapılan çalışmalarda, yarı bitümlü kömürler gibi koklaşma özelliği çok zayıf olan bazı kömürlerin de, önce 380 - 450°C' ye kadar ısıtılarak plastik hale getirilip, aynı sıcaklıktaki briketleme kalıbı içerisinde briketlenmelerinin mümkün olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, ısıtma esnasında belirli miktarda uçucu madde ortamdan uzaklaştığı için elde edilen briketler de hemen hemen dumansız yakıt kalitesinde olmaktadır [1]. Linyit normal koşullar altında ısıtılmakla herhangi bir plastisite göstermediğinden ya da plastisite sınırının dar olmasından dolayı bu yöntemine uygun değildir [16].

3.4. BRİKETLERİN SAHİP OLMASI GEREKEN ÖZELLİKLER

Sağlamlık briketlerde aranması gereken en önemli özelliktir. Briketlerde sağlamlık, yükleme boşaltma ve ufalanmaya karşı gösterecekleri direncin bir ölçüsüdür. Genel olarak etkiyen kuvvetler basınç, çarpma ve sürtünme şeklinde olacaktır. Briketler sağlam değilse, üretim yerlerinden tüketim yerlerine kadar nakliye sırasında yüksek oranda tozlaşacaktır. Izgaralı yakma sistemlerinde ızgara kaybının artmasına ve dolayısıyla verim düşüşüne neden olacaktırlar. Briketlerin sağlamlığını ölçmek için

düşme sağlamlığı (shatter indeksi), aşınma ve kırılma sağlamlığı testleri yapılmaktadır [18].

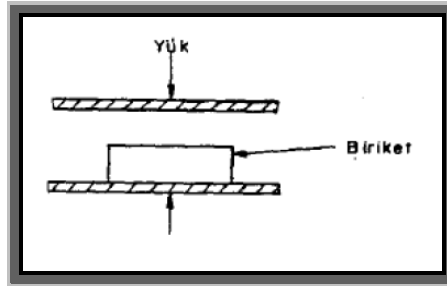
3.4.1. Düşme Sağlamlığı Değeri (Shatter Testi)

Pres kömürlerin gerek nakliyat ve depolanmalarında ve gerekse rutubete karşı dayanıklılıklarının tesbitinde önemli bir test olan Shatter Testi, çelik bir plaka üzerine 1,8 m'den bırakılan briketler, ISO-R 616 standardına göre elek üstü tanımları ile ifade edilmektedir (Richards, 1990). Briketlerin boyutu küçülüp, ağırlığı azaldıkça Shatter indeksleri artar [17].

ISO- R 616 standardına göre düşme sağlamlığı için kesin bir değer kabul edilmemesine rağmen, düşme sağlamlığı 2000'in üzerinde olan briketler amaca uygun kabul edilmektedir [1,19].

3.4.2. Kırılma Sağlamlığı Değeri

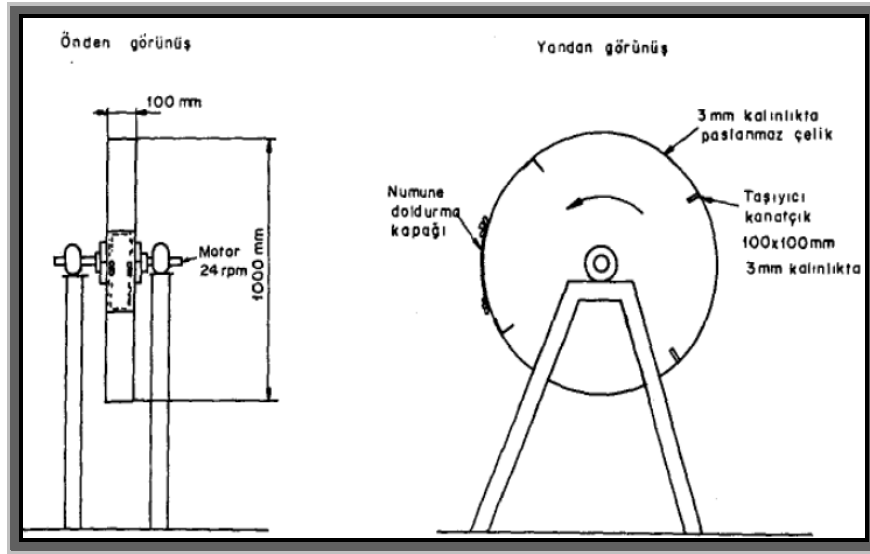
Briketlerin standartlarından biri de kırılma sağlamlığıdır. Bu deney için paralel iki levhalı hidrolik preste briketler Şekil 3.2'deki gibi konumlandırılır. Üzerinde ezilme ve çatlak bulunmayan rastgele seçilmiş briket deney numunesi alınarak basınca dayanım, kırılma sağlamlığı ölçülerek ortalama değer bulunmuştur [17].



Şekil 3.2. Tabanı düzgün geometrik şekilli briketlerin kırma deneyindeki konumu [20].

3.4.3. Ufalanma Sağlamlığı Değeri (Tambur Testi)

Briket kömürlerin taşınma ve depolanmaları sırasında ufalanmaları istenmeyen durumdur. Tambur içinde 90° aralıkla dizilmiş ve briketleri kaldırmaya yarayan dört tane kanatçık vardır. Tambur sabit bir hızla (25 devir/dak) 4 dakika süre ile döndürülerek briketlerin ufalanması sağlanır. Sonuçta, belli bir elek açıklığına sahip eleğin üzerinde kalan oran saptanır. Genel olarak, ev yakıtı olarak kullanılacak briketlerin % 20'den fazla ufalanmaması istenir [20].



Şekil 3.3. Aşınma dayanım testi için tambur cihazı [20].

3.4.4. Briketlerin Suyu Dayanımı

Türkiye'de üretilen kömür briketlerinin en önemli dezavantajlarından biri rutubete yani suya karşı düşük dayanıklı olmasıdır. Briketlerin suya dayanımı suya atıldıktan sonra dağılmaya başladıkları ilk ana kadar geçen sürenin kayıt edilmesi ile saptanır [19,21-23].

Bu test hidrolik pres yardımıyla da gerçekleştirilebilmektedir. 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 süzöldükten 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_0 olarak presten okunarak kaydedilir. Suya atılan ve orijinal briketlerin ölçülen kırılma sağlamlıklarının aritmetik ortalamaları alınır. Briketlerin suya dayanım yüzdesi verilen formüle göre de hesaplanmaktadır. Suya dayanım (%), en az 70 olması istenir [17,20].

$$\text{Suya Dayanım Yüzdesi (\%)} = (T_s / T_0) \times 100$$

Burada;

T_s : Suya atılan briketlerin ortalama kırılma değeri (kgf)

T_0 : Orijinal briketlerin ortalama kırılma değeri (kgf)'dir

3.5. BRİKETLEME İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Yaman, yaptığı çalışmada, Seyitömer linyiti ile melas, çam kozalağı, zeytin küspesi, talaş, kağıt fabrikası atığı, pamuk artığı gibi biyokütle örneklerini harmanlayarak yakıt briket üretiminde kullanılabilirliğini araştırdı. Karışımlar 50 ile 250 MPa arasında basınca tabi tutulmuş; linyit için biyokütle oranı 0 ile 30 % arasında değiştirilmiştir. Briketlerin suya dayanımı, düşme sağlamlığı ve kırılma sağlamlığı incelenmiştir. Biyokütle - linyit oranının ve uygulanan basıncın briket sağlamlığına etkisi incelenmiştir. Bu çalışma, linyit-biyokütle karışımı ile linyit briketlerinin mekanik mukavemetinin geliştirilebilir olduğunu göstermiştir. Örneğin, kağıt fabrikası atık varlığı elde edilen briketlerin düşme sağlamlığı artmıştır. Benzer şekilde, talaş ve kağıt fabrikası atığını kullanıldığı briketlerde kırılma mukavemeti artmıştır. Briketlerin su direnci zeytin, çam kozalağı, kağıt fabrikası atıkları, pamuk atıkları ile artırılabilir olduğu gözlemlenmiştir. Talaş kullanıldığı zaman ise muhtemelen su ile etkileşimin talaşın şişmesine yol açması nedeniyle briketin, su direncinin genel olarak azaldığı belirtilmiştir. Kırılma indeksi için, optimum talaş ilavesinin %10 olduğu Kozalak ve pamuk artığının briketin düşme endeksi üzerinde herhangi bir olumlu etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Kağıt fabrikası atığının briket üretiminde iyi bir bağlayıcı olabileceği sonucuna varılmıştır [23].

Deniz, yaptığı çalışmada, Kale (Denizli) yöresi linyiti ile ithal kömür karışımının briketlenme koşullarını incelemiştir. Deneyler sonucunda en uygun briketleme şartlarının, melas oranı %12, kurutma sıcaklığı 150°C, kurutma süresi 100 dakika, pres süresi 3 sn, presleme basıncı 1172 kg/cm² ve karışma oranı ise %45 Yerli + %55 İthal kömür olarak belirlenmiştir. Bağlayıcı madde olarak Melas kullanılmış, optimum melas oranının % 12 olarak seçilmesi gerektiği belirlenmiştir. Bu test sonuçlarından, yerli toz kömür ve ithal toz kömürlerinin katkı maddeli briketlenme yöntemi ile istenilen sağlamlıkta (Shatter İndeksi; %88 ve Basınç dayanımını 210 kg/cm²) briketler elde edilebileceği ortaya çıkmış, ekonomik değeri düşük olan Kale yöresi kömürlerinin briketlenerek değerlendirilebileceğini göstermiştir [24].

Yaman, yaptığı çalışmada, zeytin artığı ve kağıt fabrikası artığını yakıt amaçlı kullanılmak üzere briket üretim çalışmaları yapmışlardır. 150, 200 ve 250 MPa briketleme basıncında üretilen briketlerin mekanik özelliklerine bakılmıştır ve kağıt fabrikası atığından üretilen briketlerin daha sağlam olduğu tespit edilmiştir. Kağıt fabrikası atığından üretilen briketlerin farklı nem içeriklerinin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Optimum briketleme basıncının 200 MPa, nem içeriğinin ise % 15 olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak briket üretimi için kağıt fabrikası artığının tek başına ya da zeytin artığı ile karıştırılarak kullanılması uygun görülmüştür [22].

Beker, yaptığı çalışmada, düşük kaliteli Afşin-Elbistan linyiti ile yüksek kaliteli Sibiry bitümlü kömürünü karıştırarak, bağlayıcı madde kullanarak ve kullanmayarak optimum briketleme koşullarını araştırmıştır. Linyit ve bitümlü kömür karışımları % 30, 40 ve 50 bitümlü kömür içerecek şekilde hazırlanmış ve 566 MPa ve 708 MPa basınç altında briketlenmiştir. Bu harmanlama linyit ve bitümlü kömür karışımına; ayçiçeği kabuğu, talaş ve melas katkı maddeleri eklenerek de tekrarlanmıştır. Katkı maddesi kullanılan bu deneylerde, linyit yüzdesi % 50 , bitümlü kömür ve bağlayıcı katkı maddesi yüzdelerinin toplamı daima % 50 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu şekilde, düşük dereceli linyit ve yüksek kaliteli bitümlü kömür tozları daha yüksek kaliteli yoğun bir yakıtı dönüştürülmüştür [21].

Beker, yaptığı çalışmada, Afşin-Elbistan linyit numunelerini bağlayıcı malzeme olmadan briketlemiştir. Briket dayanımına linyit numunelerinin nem içeriğinin etkisi dört farklı basınçta 400, 550, 700 ve 800 MPa incelenmiştir. Bağlayıcı malzeme olmadan linyit örneklerinin su direncinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Optimum nem içeriği ve briketleme basıncı, sırasıyla, % 15 ve 550 MPa olduğu bulunmuştur. Bu optimum koşullarda, kağıt fabrikası atığı, ayçiçeği kabuğu, talaş ve bira fabrikası atıkları değişik oranlarda bağlayıcı madde olarak kullanılmış, talaş ve kağıt fabrikası atıklarının, yüksek kalorifik değeri ve yüksek dayanım gücü ile en kaliteli briketleri oluşturduğu bulunmuştur [19].

Deniz, yaptığı çalışmada yüksek kalorili, düşük kükürtlü Saracova (Nazilli-Aydın) yöresi kömürünü farklı basınçlarda, bağdaştırıcılı-bağdaştırıcısız briketlemiştir. En uygun briketleme şartlarının, melas oranı %10, kurutma sıcaklığı 125 °C, kurutma süresi 15 dakika, pres süresi 4 sn, presleme basıncı 879 kg/cm² (87.9 MPa), ve briketleme boyutu ise 0.850 mm olarak bulmuştur. Saracova toz kömürlerinin katkı maddeli briketlenme yöntemi ile istenilen sağlamlıkta (Shatter indeksi; %98 ve Basınç dayanımını 145 kg/cm² briketler elde edilebileceği ortaya çıkmıştır [25].

Bayar, yaptığı çalışmada ısıtma işlem sıcaklığının, briket ağırlığı, ısıtma süresinin ve bağlayıcı miktarının, briketlerin mekanik dayanım üzerine etkilerini araştırmıştır. Deneysel çalışmada bağlayıcı olarak melas ve bir nişasta çeşidi olan CHB (Carbo-hydrate Binder) kullanılmıştır. Briketlerin suya, darbeye ve düşmeye karşı dayanım testleri yapılmıştır. Deneysel çalışmaların sonuçlarına göre briketlenen numunenin ağırlığı 22 gr, optimum bağlayıcı miktarı, ısıtma süresi ve sıcaklığı sırasıyla %10, 60 dk ve 200 C'olarak bulunmuştur [26].

Anıl, kalorifik değeri düşük ve yüksek kükürtlü Şırnak linyitleri ile Rus linyit kömürü tozu, G. Afrika linyit kömür tozu ile değişik oranlarda karıştırılarak bağlayıcı maddelerle briketlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, Şırnak linyitlerinin ithal linyitlerle belli oranlarda karıştırılarak briket üretildiğinde TSE kalitesini sağlayacağı ve evlerde soba ve kalorifer yakıtı olarak kullanılacağı belirlenmiştir. Yerli kömürlerin ithal kömürlerle karıştırılarak üretilen briket kömürlerinde kül, kükürt ve bünye rutubet oranının arttığı belirlenmiştir [17].

Yaman, yaptığı çalışmada, 250µm'e kadar öğütülmüş kağıt fabrikası atığı ve zeytin atığını 150-250 MPa basınç aralığında briketlemiştir. Biyokütlerin nem oranlarının ve basınç değerlerinin, düşme sağlamlığı, kırılma dayanımı ve suya dayanıma etkisini araştırmış, zeytin atığından elde edilen briketlerin mekanik dayanımının zayıf , kağıt fabrikası atığından ve iki biyokütlenin karışımlarından elde edilen briketlerin mekanik dayanımının güçlü olduğunu belirlemiştir. Ayrıca briketlerin yanma analizleri de yapılmıştır [27].

Stolarski, tarımsal ve ormansal biyokütlenin küçük ölçekli briket üretiminde kullanımının maliyetini ve üretilen briketlerin kalitesini incelemek amacıyla 8 farklı tipte briket üretmiştir.En yüksek net kalorifik değer, sarıçam talaşından, 18.14 Mj/kg olarak analiz edilmiştir.En düşük kül içeriği talaş briketinden, %0,40'ın altında olduğu tesbit edilmiştir. Sarıçam talaşından üretilen briketlerin en yüksek kalitede olduğu belirlenmiştir.Briket üretimi maliyet aralığı; sırasıyla saman briketi ve saman-kanola yağı küspesi için 66,55€/ton ve 137,8 €/ton olarak hesaplanmıştır [28].

Zhang, yaptığı çalışmada, linyit briketi için bağlayıcı madde olarak pirinç atığını, NaOH, kireç, ve sülfirik asit çözeltisi ile ayrı ayrı işleme tabi tutmuş, bağlayıcı madde olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Kullanılan kimyasalın çeşidi ve konsantrasyonunun, pirinç atığının bağlayıcılığını etkilediği belirlenmiştir. Sülfirik asit'in pirinç atığı ile etkileşiminin bağlayıcı özelliği arttırmadığı belirlenmiştir [29].

Demirbaş, yaptığı çalışmada, kağıt ve saman atıklarının ve bunların karışımının, bağlayıcı madde olmadan preslenmesinin sağlam ve stabil bir yakıt oluşturduğunu belirlemişlerdir. 300-800 MPa basınçta biriktelen karışımlarda optimum nem içeriğinin %18 olduğu belirlenmiştir. En yüksek kırılma dayanımı, kağıt atığı için 38.2 MPa, saman için 22.4 MPa, %20 kağıt atığı içeren saman karışımı için 32.0 MPa olduğu belirlenmiştir. Saman briketinin yoğunluğuna, briketlerin sıcaklığının ve briketleme süresinin etkisi incelenmiştir [30].

Benk, yaptığı çalışmada , saman ve talaşı doygun bazik çözelti içerisinde beklettikten sonra 100 °C'de kurutmuş, antrasit tozu içerisine %5,%10 ve %15 oranlarında katarak briketler hazırlamıştır. Briketlerde bağlayıcı olarak melas kullanılmıştır.

Uygulanan kimyasal işlemler sonunda yüksek basınç gerektirmeden şekillendirilebilir hale getirilmiştir. Briketlerin kırılma sağlamlığı değeri belirlenmiştir [31].

Zeng, yaptığı çalışmada, Çin'de saman'ın, briketleme,biyogaz ve gazlaştırma proseslerinde biyokütle enerjisi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Üretilen saman briketlerinin ideal nem değerinin %10 olması gerektiğini, elde edilen enerji miktarının 30MJ/kg 'a kadar yükselebileceğini ve CO, CO₂, SO₂ ve NO_x emisyonlarının çok düşük olduğunu bildirmiştir. Ayrıca saman briketleri için kullanılan briketleme makinalarından da bahsedilmiştir. Briketleme ile, saman'ın hacimsel kalorifik değerinin arttırılabileceği, ulaşım maliyetlerinin azaltılabileceği ve kırsal kesim için ideal yakıt olarak kullanılabilceği bildirilmiştir [32].

Ülkemizin sahip olduğu en önemli fosil kaynağı, linyit kömürüdür. Ülkemizin biyokütle potansiyeli, yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi açısından değerlendirilmelidir. Linyit kömürünün, briketlenerek katı yakıt olarak kullanılabilirliğini arttırmak, biyokütle katkısı ile olumsuz özelliklerini berteraf etmek ve daha temiz ve verimli enerji üretebilmek bu çalışmanın amacı içerisinde yer almaktadır.

BÖLÜM 4

BİYOKÜTLENİN BRİKETLENMESİ

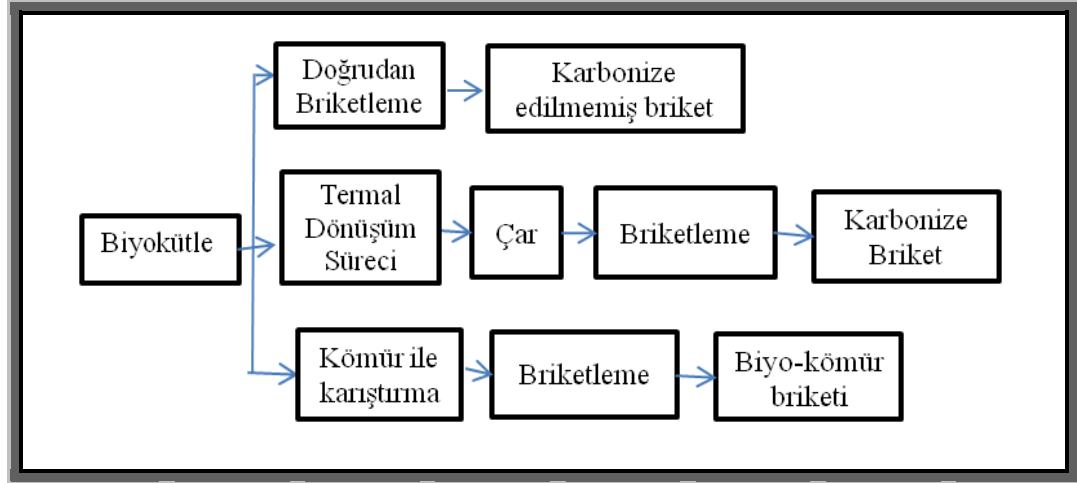
Tarımsal ve diğer biyokütle atıkları özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için önemli bir kaynak olup bu ülkelerin çoğunda her yıl çok miktarda atık çıkmaktadır. Tarımsal atıklar düşük yoğunluğa ve yüksek nem içeriğine sahip materyaller olduklarından evlerde ve endüstriyel alanlarda doğrudan yakılması çok etkin olmamakta ve bu atıkların doğrudan kullanılması taşıma, depolama ve işleme problemlerini meydana getirmekte ve en önemlisi kirliliğine neden olmaktadır. Tarımsal ve diğer biyokütle atıklarının etkin bir biçimde kullanılmasının yollarından birisi de onların briketlenmesidir. Briketleme, yeterli ölçüde parçalanmış materyalin 25 mm çap'tan daha büyük şekillerde sıkıştırılması işlemidir. Biyokütlenin briketlenmesi ile yoğunluğu 100-200 kg/m³'den 1200 kg/m³'e kadar çıkarılmaktadır [33].

Briketleme işlemi ile; biyokütle karakteristikleri iyileştirilmekte, hacimsel ısı değeri artmakta, taşıma maliyetleri düşmekte, depolama masrafları azalmakta, büyük sobalarda kolaylıkla yakılabilmekte, yanma karakteristikleri düzelmekte, atmosfere salınan partikül emisyonları azalmakta ve aynı boyut ve şekilde iyi bir yakıt elde edilmektedir. Biyokütlenin briketlenmesi amacıyla kullanılan briketleme teknolojileri sıkıştırma esasına göre üç grupta toplanmıştır [33].

- Yüksek basınçta sıkıştırma
- Isı yardımıyla orta basınçta sıkıştırma
- Yapıştırıcı katkılı düşük basınçta sıkıştırma

Briketlenecek materyal yüksek basınç altında sıkıştırıldığında deforme olmakta ve böylece yapıştırıcı maddeye ihtiyaç duyulmamaktadır [33].

Biyokütleden briket üretimi Şekil 4.1' de görüldüğü gibi üç farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Biyokütleden briket üretiminde bir çeşit biyokütle ya da farklı çeşit biyokütlelerin karışımları kullanılabilir.



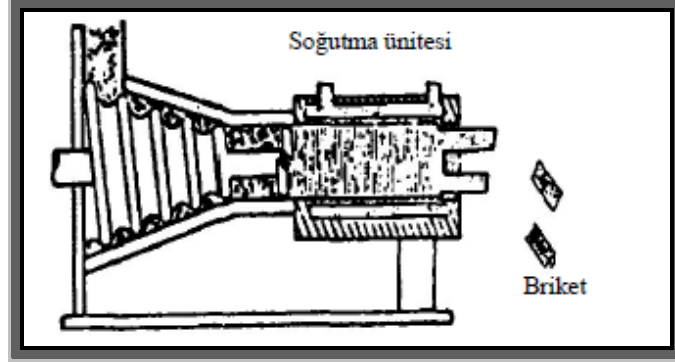
Şekil 4.1. Biyokütleden briket üretim yöntemleri [6].

4.1. BİYOKÜTLE BRİKETLEME YÖNTEMLERİ

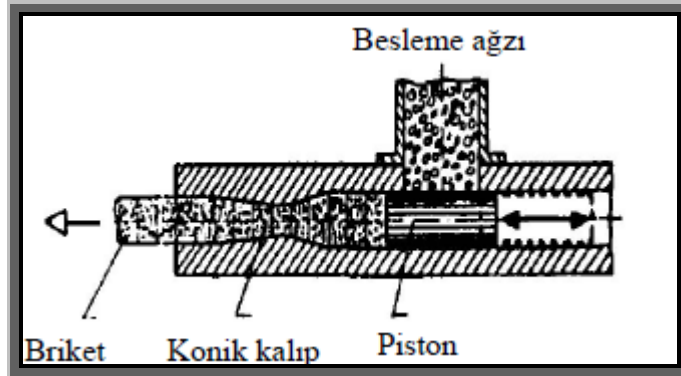
Yakacak olarak değerlendirilmesi amaçlanan biyokütle materyalin sıkıştırılarak dağılmadan bir arada kalabilmesi için her şeyden önce, hammaddeyi oluşturan partiküllerin birbirine yapışması ya da bağlanması gereklidir. Aglomerasyon; yeniden kazandırılmış materyallerin birbirlerine tutunmaları yoluyla agregatlar oluşturulmasına verilen addır. Ajitasyon aglomerasyonu sanayide genel olarak granülasyon olarak bilinmektedir. Sıkıştırma aglomerasyonu ise partiküler haldeki materyallerin veya karışımların bir sıkıştırma ekipmanı ile basınç etkisi altında aglomerasyonunun sağlandığı bir boyut büyütme yöntemidir. Bu ikinci yöntemle ya sürekli yapıya sahip levhalar şeklinde ya da briket ya da tablet gibi çeşitli biçimlere sahip katı malzemeler üretilmektedir [19].

Basıncılı sıkıştırma işlemlerinde kullanılan ekipmanlar genel olarak iki sınıfa ayrılabilir. Bunlardan birincisi kapalı bir haznede sıkıştırma yapan aletler (döküm kalıplama, pistonlu sıkıştırıcılar, tablet yapıcılar ve dönel presler), ikincisi ise ekstrüzyon aletleridir (peletleme makinesi, vidalı ekstrüzyon cihazları ve vidalı presler). Bunlardan briketleme için en çok kullanılanları pistonlu ve vidalı preslerdir.

Pistonlu presler, mekanik ya da hidrolik olarak çalıştırılabilir ve iki parçalı bir kalıptan meydana gelir. Bu kalıplardan üniform briketler üretilmekte olup; basınç ve ısı uygulaması partiküler haldeki materyalin, içinde bulunduğu kalıbın şeklini alacak biçimde akmasına ve sıkışmasına neden olmaktadır [34].



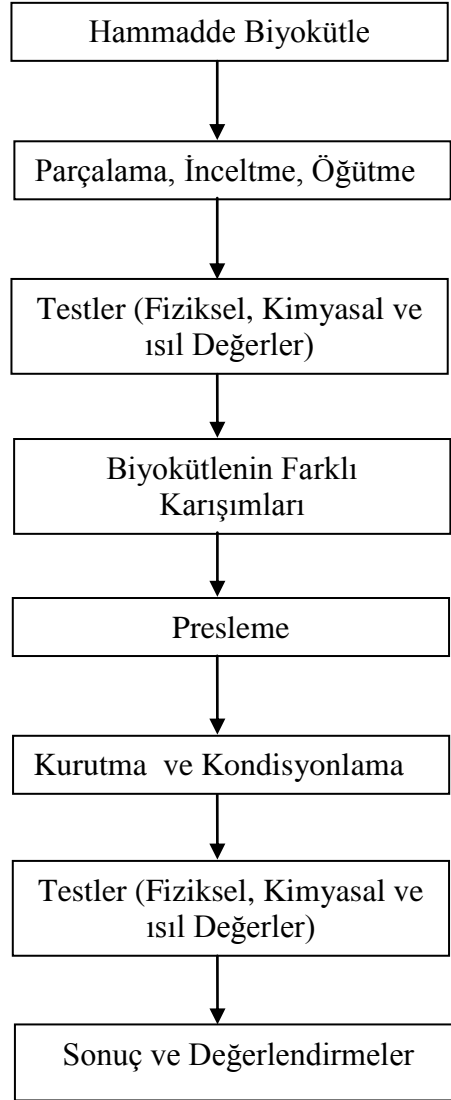
Şekil 4.2. Soğutma düzenli konik helezon vidalı briketleme makinası [33].



Şekil 4.3. Konik silindirik pistonlu tip briketleme makinası [33].

Ekstrüzyonla briketleme yönteminde vidalı presler en yaygın olarak kullanılan ekipmandır. Vidalı preslerde, materyalin kalıp içerisinde sürekli olarak plastik akışının sağlandığı bir vida kuvveti uygulanmaktadır. Üretilen briketler içerisinden geçtiği kalıbın yuvarlak olup olmamasına göre değişik biçimlerde oluşmaktadır. Bu tür makinalarda ıslak ve kuru ekstrüzyon teknikleri kullanılmakta olup, her iki durumda da parçacıklarla kalıp duvarları arasındaki sürtünme özellikleri önemli rol oynamaktadır. Pistonlu ve vidalı tip preslerin karşılaştırılması yapıldığında; vidalı preslerden elde edilen briketlerin yanma performanslarının daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Bunun başlıca nedeni, vidalı presten çıkan briketlerin ortasındaki

boşluğun yeterli hava sirkülasyonunu sağladığından yanmanın iyi olması; buna karşılık pistonlu presten çıkan briketlerin homojen olmaması yüzünden yanmanın olumsuz etkilenmesidir [34].



Şekil 4.4. Biyokütle briketi üretimi şeması [34].

Şekil 4.4 'de biyokütle briketi üretimi şeması görülmektedir. Biyoküteller; parçalama, inceltme ve öğütme işlemlerine alınarak farklı ebatlarda yonga ve unlar elde edilir. Bunu takiben kurutulacak olan materyaller farklı yüzde karışımları ve katkı maddeleri ilavesi ile preslerde silindirik şekil ve farklı ebatlarda, değişik basınç ve sıcaklık değerlerinde briket yapımında kullanılmaktadır. Elde edilecek briket ebatları genelde 50, 60 ve 70 mm çap ve yüksekliklerinde yapılır. Briketler sırasıyla

600, 1200 ve 1800 kPa basınç ile 100, 150 ve 200 °C sıcaklık değerlerinde üretilmektedir. Briket üretiminde yoğunlaştırma işlemi sırasında bütün örnekler eşit sürelerde preslerde tutulurlar. Üretilecek briketler sabit ağırlığa ulaşmaya kadar 100 °C sıcaklık altında fırında bekletilirler. Daha sonra kondisyonlanarak bir dizi testlerden geçirilmektedirler. Bu testler; yoğunluk, rutubet, nem tayini, ezilme ve kırılma dirençleri, ısıtma ve yanma deneyleri olarak farklı şekillerde uygulanmaktadır. Yanma deneyleri sonunda briketlerin yanma hızları, süreleri, açığa çıkan gazlar ve verdikleri ısı enerjileri bulunmaktadır. Yakıt briketi üretiminde katkı maddeleri olarak atık kağıtlar, lignosülfonat, nişasta, tall yağı ve kepek ile NaOH karışımı farklı oranlarda kullanılmaktadır. Briketler, preslerde (vidalı veya pistonlu) farklı şekil ve ebatlarda hazırlanmış kalıplar içerisinde sıkıştırma metodu ile elde edilirler [34].

4.2. BİYOKÜTLENİN BRİKETLEMESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Briketleme işlemindeki en önemli kriterler, malzemenin nem oranı, sıcaklık ve basınç şiddetidir. Buna ek olarak briket üretilecek materyalin karışım oranları ve içeriği de önemli bir kalite faktörüdür. Bu nedenle farklı şekillerde ve karışım oranlarında, değişik sıcaklık ve basınçlar altında oldukça fazla briket üretilmesi gerekmektedir. Kondisyonlama işleminden çıkan yakıt briketleri ezilme ve kırılma deneylerine alınırlar. Briketlerin yakma deneyleri yapılarak, kül miktarı, kalori değerleri, yanma süresi ve şiddeti tespit edilmektedir. Ayrıca briketlerin yanma sonucu verdiği gaz miktarlarının da ölçülmesi gerekmektedir [34].

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. KÖMÜR ve BİYOKÜTLE NUMUNELERİNİN TANITIMI

Yapılan deneysel çalışmalarda kömür numunesi olarak Soma yöresine ait tüvenan tipi linyit kömürü ve Zonguldak yöresine ait taşkömürü kullanılmıştır.

600 milyon ton görünür rezerv ve yıllık 10 milyon ton üretim miktarı 4000-6000 kcal/kg ortalama AID ile başta Manisa ili Soma ilçesi olmak üzere Türkiye ekonomisine önemli miktarda katma değer sağlamaktadır [35].

Ülkemizde en önemli taşkömürü rezervleri Zonguldak Havzasında bulunmaktadır. Havzada bugüne kadar yapılan rezerv arama çalışmalarında, -1200 m derinliğe kadar tespit edilmiş toplam Jeolojik rezerv 1,31 Milyar ton olup, bunun %39'u (yaklaşık 514 milyon ton) görünür rezerv olarak kabul edilmektedir [36].

Yapılan deneysel çalışmalarda biyokütle numunesi olarak, talaş, saman ve prina kullanılmıştır. Biyokütle numuneleri seçilirken, biyokütlenin potansiyeli, maliyeti ve bağdaştırıcı etkileri dikkate alınmıştır. Talaş ve saman, batı karadeniz bölgesinden; prina ege bölgesinden temin edilmiştir. Bağlayıcı olarak kullanılan melas ve filtre toprağı kullanılmış, filtre toprağının bağlayıcı madde olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Melas, şeker üretimi sırasında prosesin bir yan ürünü olarak elde edilir. Yapışkan özellikli şekerli kahverengi bir sıvıdır. Yem sanayiinde, maya üretimi, kömür briketlenmesi, beton ve gübre sanayinde kullanılmaktadır. Türkiye'de, pancar üretimine bağlı olarak, yılda 500 bin ton dolayında melas elde edilmektedir. Ancak, melas suda kolaylıkla çözündüğü için, üretilen briketler de suya karşı yeterli

dayanıklılığı sağlayamamaktadır. Ülkemizde en yaygın olarak kullanılan katkı maddesidir. Melasla birlikte kullanılan kireç taşı hem brikete sağlamlık vermekte, hem de kükürdün bir bölümünün külde kalmasını sağlamaktadır. Fakat aynı zamanda kireç taşı kullanımı yanma verimini azaltmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan melas numunesi Ankara şeker fabrikasından temin edilmiştir.

Pres filtre toprağı da şeker fabrikası atık maddelerinden bir tanesidir. Yer stabilizasyonu, asidik toprakta pH dengeleme, çimento fabrikalarında hammadde, kömür yakan termik santrallerde kükürt giderme gibi amaçlarla kullanılır. Kullanılan filtre toprağı, Ankara şeker fabrikasından temin edilmiştir.

5.2. NUMUNELERE UYGULANAN ANALİZLER

Biyokütle ve kömür türlerinin karakterizasyonunu yapmak amacıyla kısa analiz ve ısı değer analizi yapılmıştır. Kömür numunelerine uygulanan kısa analiz, termogravimetrik analiz cihazında, ASTM standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [37-41].

Biyokütle numunelerinin analizi, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Enerji Tarımı Laboratuvarında TS standartlarına göre gerçekleştirilmiştir [42-44]. Tüm numunelere kümülatif elek analizi yapılarak, tenecik dağılımları belirlenmiştir.

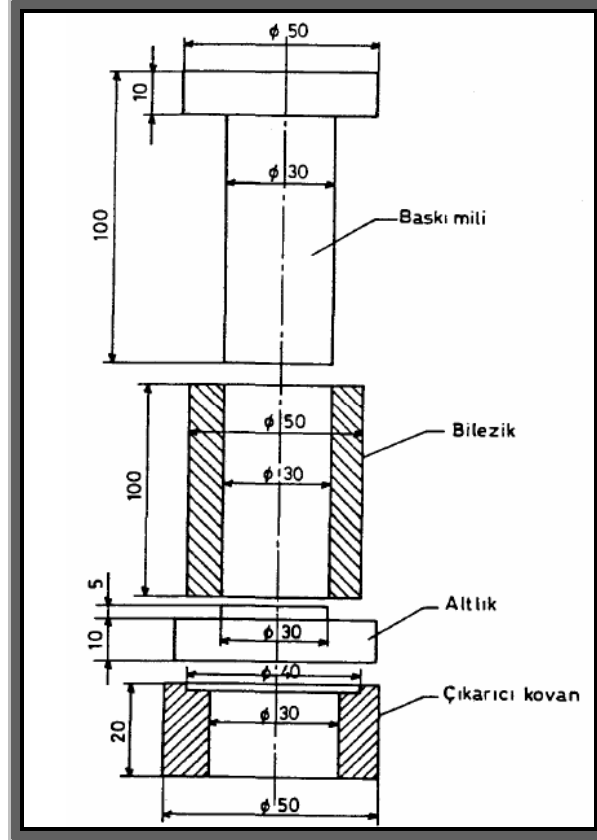
5.3. BRİKETLEME DENEYLERİNDE KULLANILAN CİHAZLAR

Briketleme işleminde, Şekil 5.2' de boyutları gösterilen, silindirik şekildeki paslanmaz çelik alaşımlı kalıp kullanılmıştır. (Şekil 5.1)

Deneyleerde kullanılan pres, Halim Usta Hidroliksan firması tarafından üretilmiş, maksimum 250 bar basınç uygulayabilen hidrolik bir prestir. (Şekil 5.3)



Şekil 5.1. Briketlemede kullanılan paslanmaz çelik kalıp.

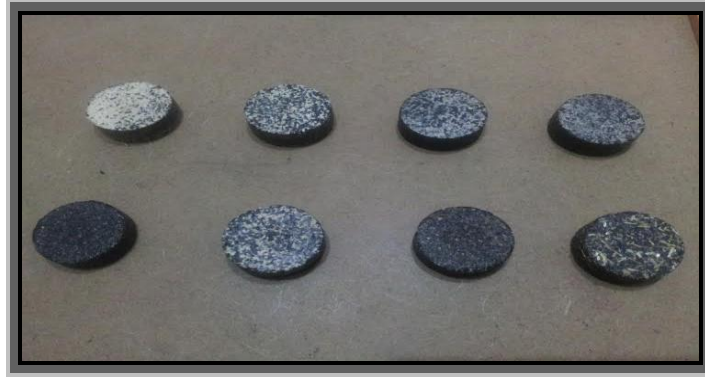


Şekil 5.2. Briketlemede kullanılan kalıbın teknik resmi [13].



Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan pres makinası.

Numuneler 0-2 mm tanecik boyutuna sahip oluncaya kadar öğütülmüştür. Ortalama briket ağırlığı 15 g olacak şekilde briket numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin presleme sırasında, preste briketleme süresi 10 sn'dir. Şekil 5.4'de üretilen briket numuneleri gösterilmiştir.

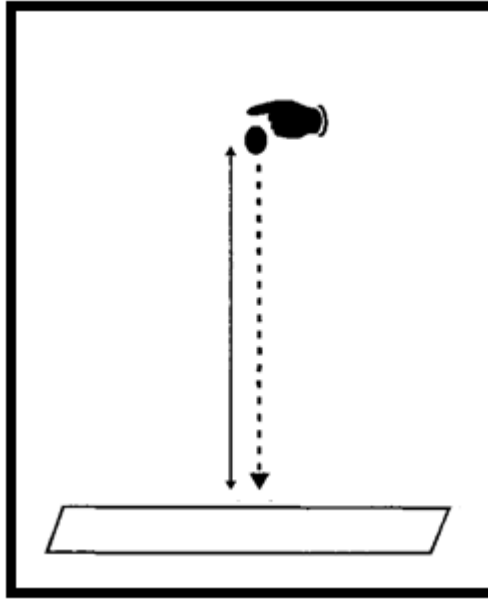


Şekil 5.4 Üretilen briket örnekleri.

5.4. BRİKETLERE UYGULANAN TESTLER

5.4.1. Düşme Sağlamlığı Testi

Preslenen briket numuneleri bir hafta açık havada dinlendirildikten sonra, düşme sağlamlığı testi uygulanmıştır. (Şekil 5.5). Düşme Sağlamlığı Testi ISO-R 616 standardına göre yapılmıştır. Briket numuneleri, 1.8 m yükseklikten çelik bir plaka üzerine bırakılmış, düşme sonucu oluşan parçalar 2 cm elek açıklığı olan elekten elenip, elek üzerinde kalan kısımlar tartılmıştır. Elek üzerinde kalan bu parçalar, yeniden aynı yükseklikten çelik plaka üzerine bırakılarak, test tekrarlanmıştır. Bu tekrar işlemi, tüm briket parçaları elek altına geçinceye kadar tekrarlanmış ve elek üstünde kalan parçacıkların yüzde oranları toplanarak Düşme Sağlamlığı (shatter indeksi) hesaplanmıştır [45]. ISO- R 616 standardına göre, düşme sağlamlığı 2000'in üzerinde olan briketler amaca uygun kabul edilmektedir [1,19].



Şekil 5.5. Düşme sağlamlığı test düzeneği [17].

5.4.2. Suya Dayanım Testi

Briketlerin bu özelliklerini saptamak için standartlaşmış bir yöntem yoktur; ancak briketler su dolu bir kapta bir destek üzerine bırakılarak, sağlamlıkları ve bünyelerine

su alma yöntemi izlenir. Genellikle ilk büyük parçanın ayrıldığı veya kütlenin tamamıyla dağıldığı süreler önemlidir [1].

Preslenen briket numuneleri bir hafta açık havada dinlendirildikten sonra, suya dayanımını belirlemek amacıyla, briketler su içerisine atılarak suda dağılmalarına kadar geçen süre kronometre ile tespit edilmiştir [19,21-23].

BÖLÜM 6

BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. KÖMÜR ve BİYOKÜTLE NUMUNELERİNİN ANALİZ SONUÇLARI

Kömür numunelerinin kısa analiz ve ısıl değer analiz sonuçları, Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2 'de, biyokütle numunelerinin kısa analiz ve ısıl değer analiz sonuçları Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kömür örneklerinin kısa analiz sonuçları.

Numune	Nem (%)	Kül (%)	Sabit Karbon (%)	Uçucu Madde (%)	Kükürt (%)
Soma Linyiti	15,68	43,51	18,44	38,05	0,25
Taşkömürü	4,51	14,07	51,28	34,65	0,88

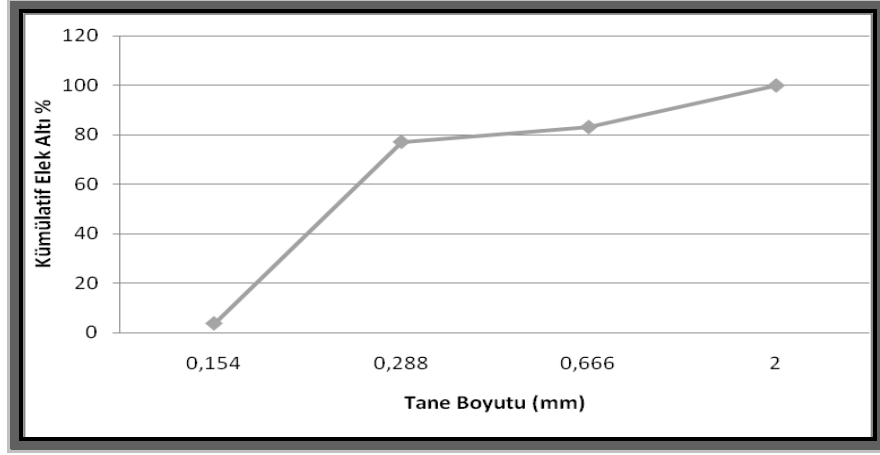
Çizelge 6.2. Kömür örneklerinin üst ısıl değer sonuçları.

Numune	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	Üst Isıl Değer (MJ/kg)
Soma Linyiti	3775	15,80
Taşkömürü	7106	29,75

Çizelge 6.3. Biyokütle örneklerinin kısa analiz sonuçları.

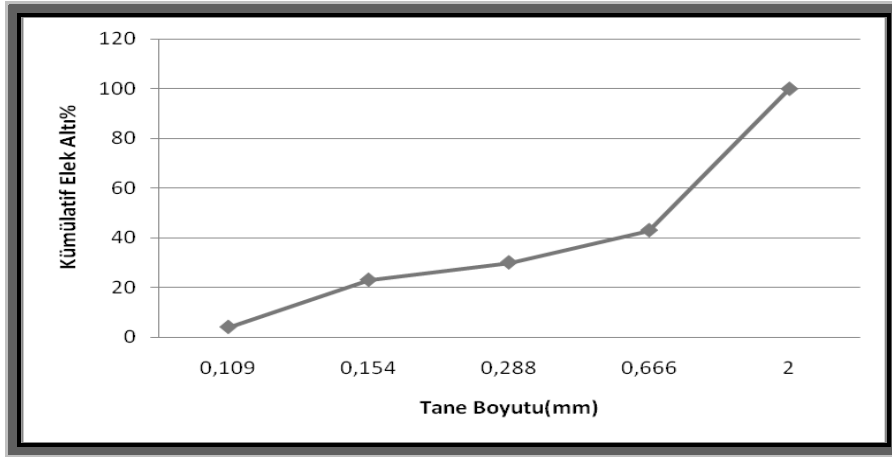
Numune	Nem (%)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	Isıl Değer (MJ/kg)
Talaş	6,99	0,59	4724	19,77
Saman	8,04	9,03	4297	17,99
Prina	5,46	4,30	5129	21,47

Kömür numuneleri, tane boyutu 2 mm'nin altında olacak şekilde öğütülmüştür. Tüm numunelere kümülatif elek analizi uygulanmıştır. Linyit numunesinin kümülatif elek analizi sonucu Şekil 6.1'de görülmektedir.



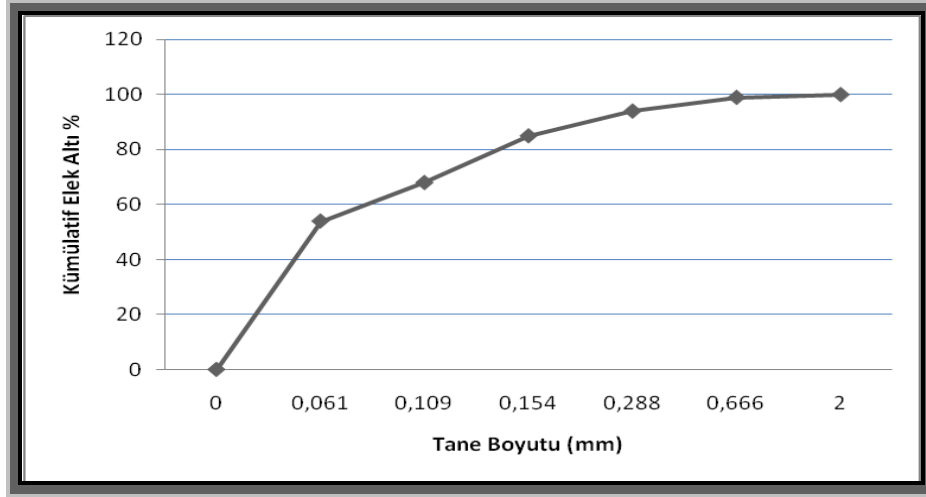
Şekil 6.1. Linyit kümülatif elek analizi sonuçları.

Biyokütle numuneleri de, tane boyutu 2 mm'nin altında olacak şekilde öğütülmüştür. Tüm numunelere kümülatif elek analizi uygulanmıştır.

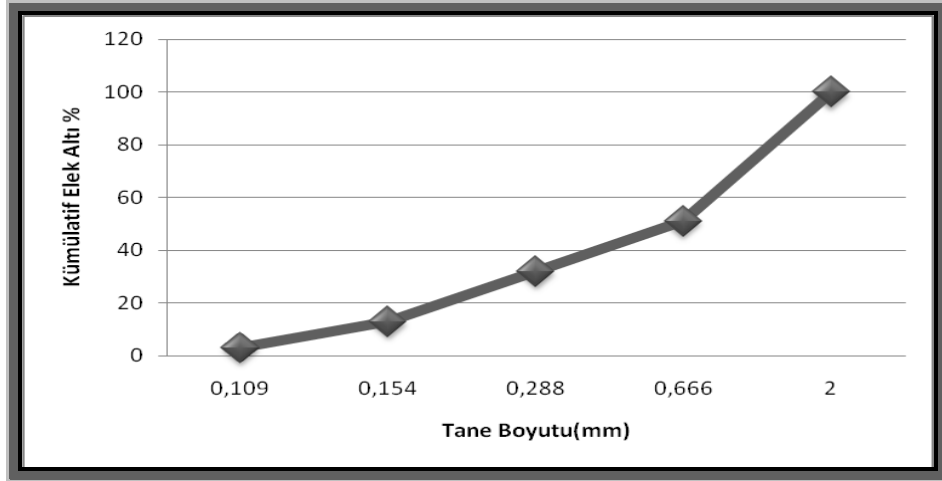


Şekil 6.2. Talaş kümülatif elek analizi sonucu.

Biyokütle numunelerinin kümülatif elek analizi sonuçları Şekil 6.2-6.4'te görülmektedir.



Şekil 6.3. Prina kümülatif elek analizi sonucu.

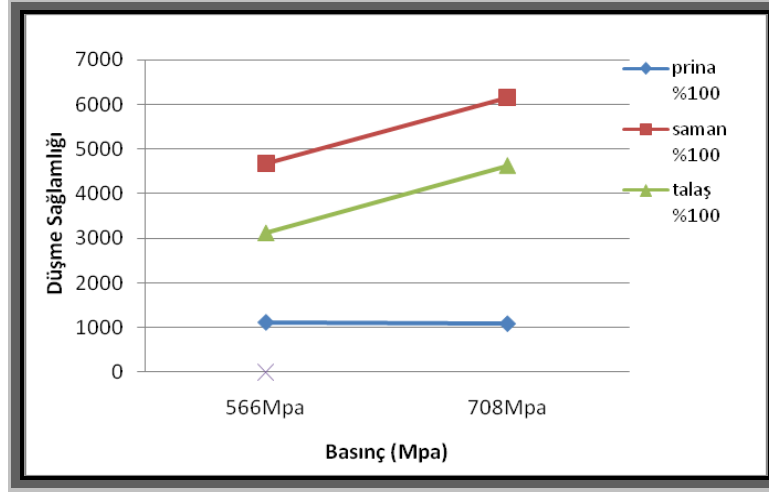


Şekil 6.4. Saman kümülatif elek analizi sonucu.

6.2. BRİKETLEME BASINCININ DÜŞME SAĞLAMLIĞINA ETKİSİ

Briketleme basıncının, üretilen briketlerin düşme sağlamlığına etkisini araştırmak için saman, talaş ve prina numuneleri, 566 MPa, 708 MPa, 840 MPa olmak üzere üç ayrı basınç uygulanarak hiçbir karışım gerçekleşmeden orjinal halleriyle briketlenmiştir. 840 MPa basınç uygulandığında, prina numunesi briket halinde preslenememiş dağılarak ufalanmıştır. Üretilen briketlere düşme sağlamlığı ve suya dayanıklılık testleri uygulanmıştır.

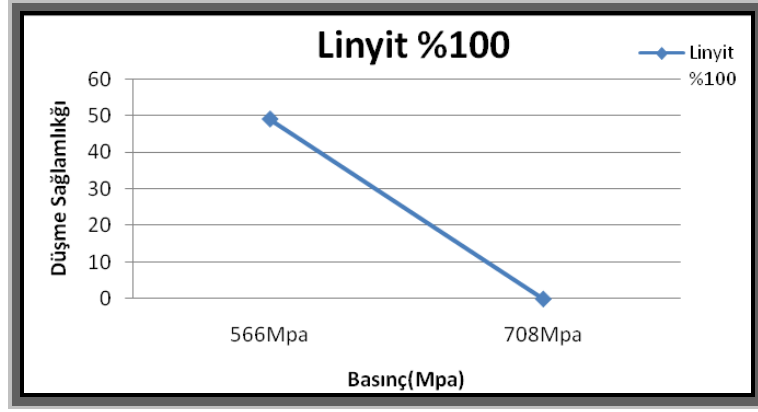
Biyokütle numunelerine uygulanan düşme sağlamlığı test sonuçları Şekil 6.5'de görülmektedir.



Şekil 6.5. Biyokütle numunelerinin düşme sağlamlığı test sonuçları.

Briketleme basıncının düşme sağlamlığına etkisini incelemek üzere hazırlanan briketlerde, basınç değerindeki artış ile, saman ve talaş briketlerinin düşme sağlamlığı değeri artmıştır. Şekil 6.5'de görüldüğü gibi, en belirgin artış saman briketinde görülmektedir. 566 MPa basınç'da üretilen saman briketinin düşme sağlamlığı 4667 iken, basıncın 708 MPa'ya çıkmasıyla bu değer, 6162'e yükselmiştir. Prina numunesi için basıncın düşme sağlamlığına etkisi çok sınırlı kalmıştır. Basıncın 566 MPa basınç'dan, 708 MPa'ya yükselmesi düşme sağlamlığı değerinde önemli bir artış göstermemiştir.

Soma Linyit numunesi, 566 MPa, 708 MPa, 840 MPa olmak üzere üç ayrı basınçta, briketlenmiştir. 708 MPa ve 840 MPa uygulanarak hazırlanan briketlerin düşme sağlamlığı değeri sıfır çıkmıştır. Şekil 6.6 'de linyit numunelerinin düşme sağlamlığı test sonuçları görülmektedir.



Şekil 6.6. Linyit numunesinin düşme sağlamlığı test sonuçları.

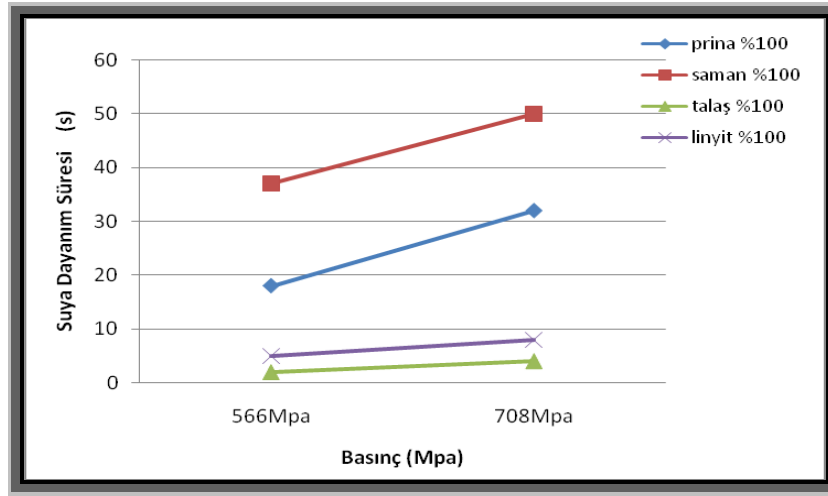
Linyit kömürünün kırılğan yapısı ve kolay ufalanabilme özelliği ile saf halde katkı maddesiz briketlenmesinin sağlam olmayan briketlerin elde edilmesine yol açtığı bilinmektedir [1]. Şekil 6.6'de görüldüğü gibi kullanılan Soma linyitinin de katkısız briketlenmesi ile elde edilen briketlerin düşme sağlamlığı değeri oldukça düşük çıkmıştır.

Yaman, %40 neme sahip Kütahya Seyitömer linyitinin 250 MPa basınç'ta briketlenmesi ile elde edilen briketlerin, düşme sağlamlığı değerini 120 bulmuş, daha sonra linyit'in nem değerini %10, %15, %20, %30 olacak şekilde azaltmış, bu nem değerlerine sahip briketlerin, düşme sağlamlığı değerinin de azalan nem içeriği ile arttığını, %10 nem içeren numunede 5195'e kadar yükseldiğini bildirmiştir [23]. Dolayısıyla, farklı nem değerlerine sahip kömür numunelerinin briketlenmesi ile düşme sağlamlığı daha yüksek briketler elde edilebileceği, daha önce yapılan literatür çalışmalarında bildirilmiştir.

Deneysel çalışmada kullandığımız Soma linyitinin nem içeriği %15 olarak tespit edilmiştir. %15 nem'e sahip Soma linyiti'nin 566 MPa basınç'ta briketlenmesi ile düşme sağlamlığı değeri 49 bulunmuştur. Farklı nem içeriklerine sahip linyit numuneleri ile yapılacak deneysel çalışmalar ile düşme sağlamlığı değeri arttırılabilir.

6.3. BRİKETLEME BASINCININ SUYA DAYANIKLILIĞA ETKİSİ

Linyit ve biyokütle numunelerine uygulanan suya dayanıklılık testlerinin sonuçları Şekil 6.7’te görülmektedir. Suya dayanıklılığı en yüksek olan briketler saman numunesinden üretilmiştir. Basıncın 566 MPa'dan 708 MPa'ya çıkarılması ile prina ve saman briketlerinin suya dayanımında, linyit ve talaş'a göre artış gözlenmiştir. Şekil 6.7' de görüldüğü gibi, 566 MPa'lık basınçta üretilen saman briketinin suya dayanım süresi yaklaşık 37 sn iken, 708 MPa basınçta, bu süre 49 sn'ye çıkmıştır.



Şekil 6.7. Linyit ve biyokütle numunelerinin suya dayanıklılık test sonuçları.

566 MPa'lık basınçta üretilen Prina briketinin suya dayanım süresi yaklaşık 18 sn iken, 708 MPa basınçta, bu süre 32 sn'e çıkmıştır.

Dahiloğlu, prina, ayçiçeği kabuğu, prinç samanı gibi biyokütle örneklerinin, 80 tonluk basınçta briketlenmesi sonucu elde ettiği briketlerin suya dayanım sürelerini belirlemiş, en yüksek suya dayanımın 38 sn ile prina briketine ait olduğunu bildirmiştir. Diğer numunelerin suya dayanımı 40 sn'nin altında çıkmıştır [13].

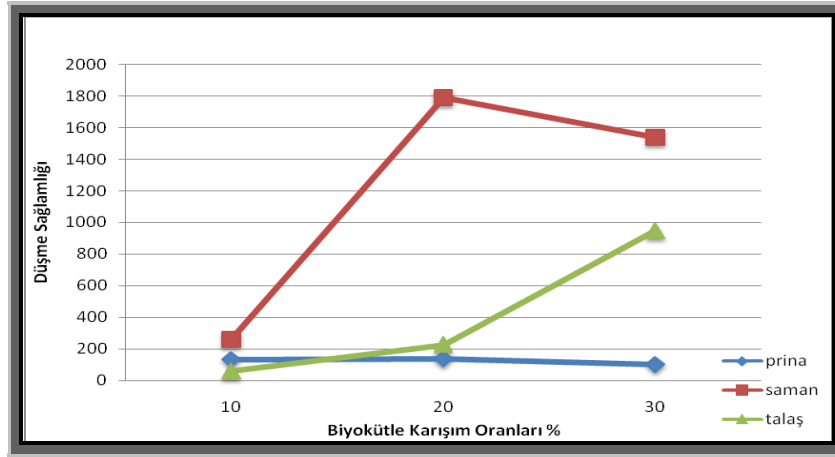
Yaman, Kütahya Seyitömer linyitinin katkısız briketlenmesi ile elde edilen briketlerin, suya dayanımının çok düşük olduğunu, %40 neme sahip kömürün, 250 MPa basınç'ta katkısız briketlenmesi ile elde edilen briketlerin suya dayanımının 2 dk olduğunu bildirmiştir. Kömür, farklı nem değerlerinde briketlenerek bu değer 18 dk'ya kadar yükselmiştir [23].

Soma linyitinin 566 MPa ve 708 MPa basınçta briketlenmesi ile elde edilen briketlerin suya dayanıklılığı çok düşüktür.

6.4. BİYOKÜTLE KATKI ORANLARININ DÜŞME SAĞLAMLIĞINA ETKİLERİ

Biyokütle katkı oranlarının briket özelliklerine etkilerini incelemek için biyokütle numuneleri, Soma linyiti ile karıştırılmıştır. Linyit numunesinin saf halde preslenmesi sonucunda, uygulanan basınç değerleri arasında en uygun olanının 566 MPa olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle oluşturulan karışımlar 566 MPa presleme basıncında briketlenmiştir. Biyokütle miktarları üç farklı oranda, %10, %20, %30 olacak şekilde linyite karıştırılarak briketleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Üretilen karma briketlere düşme sağlamlığı ve suya dayanıklılık testleri uygulanmıştır. Biyokütle katkı oranlarının üretilen briketlerin düşme sağlamlığına etkileri Şekil 6.8’te görülmektedir.



Şekil 6.8. Biyokütle ilavesinin üretilen linyit - biyokütle karma briketlerinin düşme sağlamlığına etkisi.

Şekil 6.8'de görüldüğü gibi, saman ve talaşın Soma linyiti ile karıştırılmasının, üretilen briketlerin düşme sağlamlığına önemli bir etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle, saman ilavesinin üretilen briketlerin düşme sağlamlığını büyük ölçüde artırdığı saptanmıştır. Samanın katkı oranının % 10'dan % 20'ye çıkarılması düşme

sağlamlığını yaklaşık 7 kat artırmıştır. Samanın %20'nin üzerinde ilave edilmesi düşme sağlamlığı değerinde bir miktar düşüğe neden olmuştur.

Şekil 6.8'de görüldüğü gibi talaşın katkı maddesi olarak linyit kömürüne ilavesiyle düşme sağlamlığında artış meydana gelmiştir. Düşme sağlamlığında gözlemlenen en önemli artış, talaş katkı oranının %20'den, %30'a yükselmesiyle elde edilmiştir. Talaş'ın %20 eklenmesiyle tespit edilen düşme sağlamlığı değeri 226 iken, %30 eklenmesiyle düşme sağlamlığı değeri 947'ye yükselmiştir.

Pirinanın, Soma linyiti ile karıştırılması ile elde edilen briketlerde düşme sağlamlığı değeri prina oranının artışından etkilenmemiştir. Diğer bir deyişle pirinanın linyit kömürüne eklenmesi, bağdaştırıcı etki göstermemiştir. Saman ve talaşın ise bağdaştırıcı özelliği olduğu söylenebilir.

Beker, Afşin-Elbistan linyitine talaş'ın katkı maddesi olarak ilave edilmesinin, üretilen briketlerin düşme sağlamlığı değerini arttırdığını tespit etmiştir [19] .

Yaman ve vd., Kütahya Seyitömer Linyitine zeytin atığı ve talaş ilave ederek bağdaştırıcısız briketleme işlemi gerçekleştirmiş, talaş ilavesinin, zeytin atığına oranla düşme sağlamlığı değerini çok daha fazla arttırdığını bildirmişlerdir [23].

Biyokütle katkı oranlarının linyit-biyokütle karma briketlerinin düşme sağlamlığına etkileri daha önce yapılmış çalışmalarla uyum içerisindedir. Literatürde mevcut çalışmalarda optimum nem içeriğinin tespit edilmesi ile düşme sağlamlığı değerinin çok daha yüksek değerlere çıkabileceği görülmektedir. Kullanılan numunelerin farklı nem içerikleri ile yapılacak deneysel çalışmalarda, düşme sağlamlığı değeri daha da yüksek değerlere ulaşabilir.

6.5. BİYOKÜTLE KATKI ORANLARININ SUYA DAYANIKLILIĞA ETKİSİ

Biyokütle oranındaki artışın suya dayanıklılığa etkisini incelemek için, linyit-talaş karma briketleri incelenmiştir. Linyit kömürüne %10-30 oranlarında talaş eklenmesiyle üretilen tüm briketlerin suya dayanıklılığının; 10 sn'nin altında olduğu

tespit edilmiştir. Su ile etkileşim talaşın şişmesine yol açmıştır. Talaş oranının arttırılması briketin suya direncini olumsuz etkilemiştir.

Yaman vd., Seyitömer linyitine talaş eklenmesinin, briketlerin suya dayanımını azalttığını bildirmişlerdir. 250 MPa basınç'ta Seyitömer linyitine %10 talaş eklenmesi ile suya dayanımın 5 dk'nın altında olduğunu, %20-30 eklenmesiyle bu değerinde altına düştüğünü bildirmişlerdir [23]. Elde edilen bulgular literatürle uyumludur.

6.6. BAĞLAYICI KULLANIMININ LİNYİT-BİYOKÜTLE BRİKETLERİNİN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

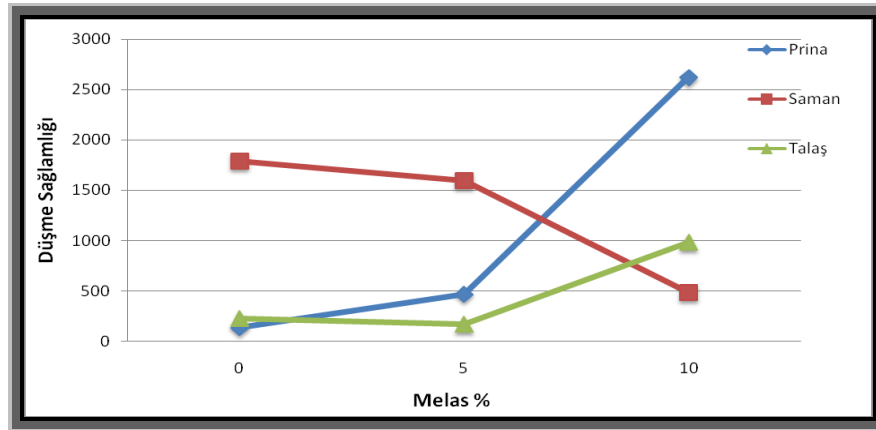
Linyit - biyokütle karma briketlerinin mekanik sağlamlığını geliştirmek amacıyla, karma briketlere iki değişik bağlayıcı ilave edilerek briketleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bağlayıcı olarak melas % 0-10 ve filtre toprağı % 0-15 oranlarında kullanılmıştır. Şeker fabrikası atığı olan Melasın bağlayıcı özelliğı olduğu bilinmektedir. Bir diğerk şeker fabrikası atığı olan filtre toprağının ise bağlayıcı olarak kullanılıp kullanılmayacağı yapılan deneysel çalışmalar ile saptanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla numuneler 566 MPa basınç altında briketlenmiştir. Melas ve filtre toprağının bağlayıcı olarak kullanıldığı karışımlardaki biyokütle oranları % 20 olarak sabit tutulmuştur. Hazırlanan linyit, biyokütle ve bağlayıcı karışımları homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra briketleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

6.6.1. Melasın Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Etkileri

Biyokütle oranı % 20 olarak sabit tutulan biyokütle - linyit karışımına, %5 ve %10 oranlarında melas ilave ederek, 566 MPa basınç uygulanması sonucunda üretilen briketlere düşme sağlamlığı testi uygulanmıştır. Melasın bağlayıcı olarak kullanılmasının üretilen karma briketlerin düşme sağlamlığına etkileri Şekil 6.9'de görülmektedir.

566 MPa basınçta melasın %5 oranında bağlayıcı olarak ilave edilmesi, düşme sağlamlığı değerini bağlayıcı maddesiz prina-lyinyit karma briketine göre yaklaşık 3 kat arttırmış; melasın % 10 oranında ilave edilmesi, prina-lyinyit karma briketinin düşme sağlamlığını yaklaşık 20 kat arttırmıştır. Şekil 6.9' da görüldüğü gibi, uygulanan 566 MPa basınç kuvvetinde, prina-lyinyit karma briketine melas ilave edilmesi, düşme sağlamlığında artış meydana getirmiştir.

Talaş - linyit karışımlarına melasın eklenmesi briketlerin düşme sağlamlığında artışa neden olmuştur. Şekil 6.9'de görüldüğü gibi, bu artış, melasın %10 ilavesinde çok belirgin gözlemlenmiş, melas ilavesiz talaş-lyinyit karışımına göre melas ilaveli talaş-lyinyit karışımının düşme sağlamlığı değeri 226'dan 982'ye yükselerek, yaklaşık 4 kat artmıştır.



Şekil 6.9. Melasın bağlayıcı olarak kullanılmasının üretilen karma briketlerin düşme sağlamlığına etkileri.

Talaş-lyinyit karma briketine melas ilavesiyle düşme sağlamlığında meydana gelebilecek artışın, prina-lyinyit karma briketine göre daha da yüksek olması beklenir. Çünkü, Şekil 6.8'de görüldüğü gibi, talaşın bağdaştırıcı etkisi, prina'ya göre çok daha yüksektir. Şekil 6.9'de görüldüğü gibi melas ilaveli talaş-lyinyit karışımının düşme sağlamlığı değeri, melas ilaveli prina-lyinyit numunesinin düşme sağlamlığı değerinden düşük çıkmıştır. Briketleme işlemi sonucunda, üretilen talaş-lyinyit-melas karma briketleri üzerinde çatlaklar oluştuğu gözlenmiştir. Bu çatlakların oluşmasının en önemli nedeni, üretilen briketlerin nem değerleridir.

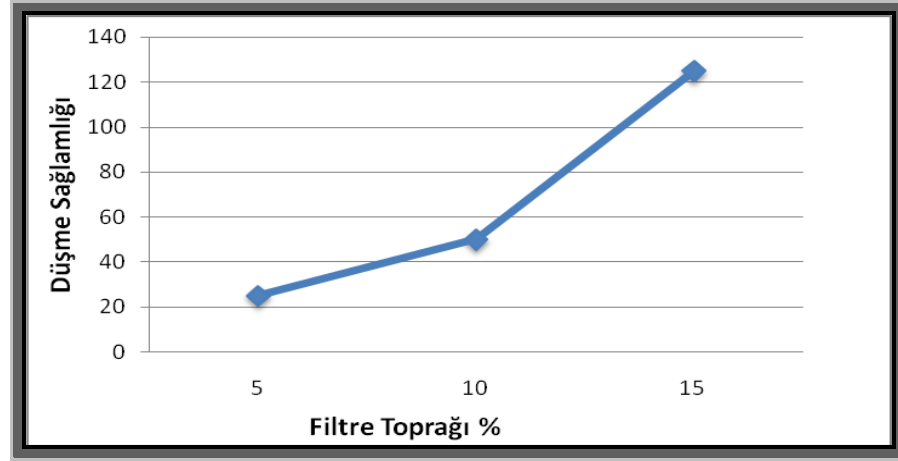
Yaman vd., Seyitömer linyit kömürünü, 250 MPa basınç'ta %15 melas ekleyerek briketlemişler, linyit ve melastan kaynaklanan kümülatif nemin fazla olması durumunda, briket yüzeyinde çatlaklar ve delikler oluştuğunu bildirmişlerdir. %10 neme sahip Seyitömer linyiti, melas ile briketlendiğinde düşme sağlamlığı değeri 46 194, % 15 neme sahip Seyitömer linyiti, melas ile briketlendiğinde bu değer 51 olarak tespit edilmiştir [23]. Dolayısıyla melas kullanımında, kümülatif nem değerlerinin briketleme üzerinde çok önemli etkisi olduğu görülmektedir. Yaptığımız çalışmada, %15 nem değerine sahip Soma linyiti ve % 6.99 nem değerine sahip talaş kullanılmıştır. Bağdaştırıcı olarak eklenen melas'ın da nem değeri göz önüne alındığında kümülatif nem değerinin fazla olmasının bu çatlakları oluşturduğu söylenebilir. Farklı nem değerlerine sahip linyit ve talaş numuneleri ile üretilecek briketler ile düşme sağlamlığı değeri arttırılabilir.

Aynı durum saman-lyinyit karışımına melas eklenmesi ile elde edilen briketler için de geçerlidir. Çünkü, bu briketler üzerinde de derin çatlaklar gözlemlenmiştir. Saman-lyinyit karışımına melas katılması üretilen briketlerin düşme sağlamlığı değerini önemli ölçüde azaltmıştır. Şekil 6.9' da görüldüğü gibi 566 MPa basınç'ta melas eklenmemiş linyit-saman karma briketlerinin düşme sağlamlığı değeri 1789 iken, %5 melas bağlayıcılı saman-lyinyit briketinin düşme sağlamlığı 1596, %10 melas bağlayıcılı saman-lyinyit briketinin düşme sağlamlığı değerinin 483 olduğu gözlemlenmiştir. Saman'ın bağdaştırıcı etkisi bilindiğinden, melas ilavesinin düşme sağlamlığı değerini artırması beklenir. Deneysel çalışmada %15 nem değerine sahip Soma linyiti ve % 8.04 nem değerine sahip saman numunesi kullanılmıştır. Bağdaştırıcı olarak eklenen, melas'ın nem değeri de göz önüne alındığında kümülatif nem değerinin fazla olmasının bu çatlakları oluşturduğu söylenebilir. Şekil 6.9' da görüldüğü gibi uygulanan 566 MPa basınç kuvvetinde, saman-lyinyit karma briketine melas ilave edilmesi, düşme sağlamlığında azalma meydana getirmiştir.

6.6.2. Filtre Toprağının Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Etkileri

Filtre toprağının bağdaştırıcı etkisini daha iyi gözlemlemek için biyokütle olarak seçilen talaşın, talaş-lyinyit karma briketindeki oranı % 10 olacak şekilde sabit tutulmuştur. Talaş - linyit karışımına, % 0 - 15 oranında filtre toprağı eklenerek,

566 MPa basınç altında üretilen briketlere düşme sağlamlığı testi uygulanmıştır. Filtre toprağının bağlayıcı olarak kullanılmasının üretilen karma briketlerin düşme sağlamlığına etkileri Şekil 6.10'da görülmektedir.



Şekil 6.10. Filtre toprağının bağlayıcı olarak kullanılmasının briketlerin düşme sağlamlığına etkileri.

Düşme sağlamlığı test sonuçlarına göre karışımlardaki filtre toprağı oranının artırılması ile düşme sağlamlığı değerinde artış gözlemlenmiş olsada; bu veriler Şekil 6.9 'de gösterilen melas-talaş-linyit karma briketleri ile yapılan düşme sağlamlığı deney sonuçlarından düşüktür. Melasın %10 eklenmesi ile düşme sağlamlığı değeri 943 iken, %10 Filtre toprağı eklenmesiyle bu oran 50 olarak hesaplanmıştır. Filtre toprağının bağlayıcı etkisinin olmadığı söylenebilir.

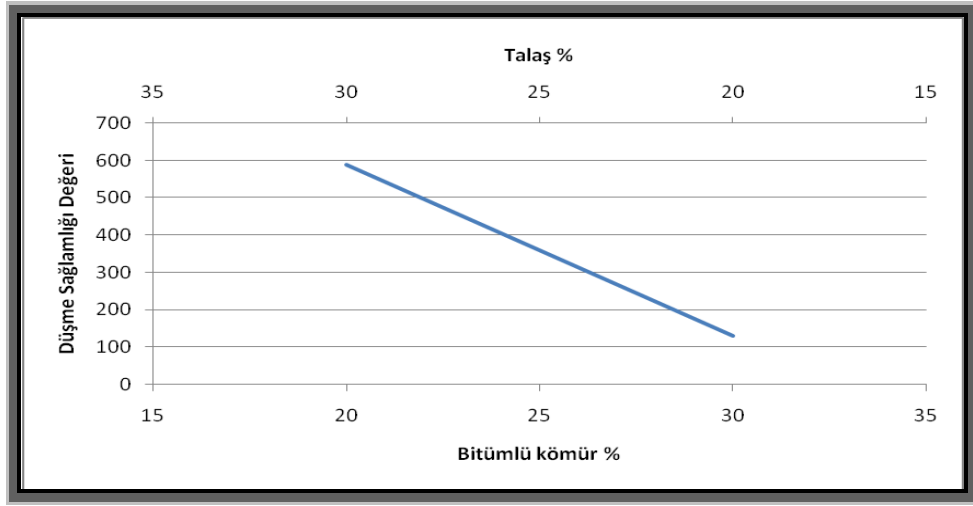
6.7. BİTÜMLÜ KÖMÜR İLAVESİNİN LİNYİT - BİYOKÜTLE KARIŞIMLARININ ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Bitümlü kömür olarak, Zonguldak Çatalağzı bölgesinden çıkarılan yüksek kalorili taşkömürü kullanılmıştır. Biyokütle olarak talaş seçilmiştir. Bitümlü Kömür ilavesinin briket özelliklerine etkilerini incelemek için bitümlü kömür, Soma linyiti ve talaş karıştırılarak karma briketler oluşturulmuştur. Karışımlardaki linyit oranı yapılan tüm deneylerde % 50 olacak şekilde sabitlenmiştir. Talaş - bitümlü kömür oranı ise toplam %50 olacak şekilde sabit tutulmuştur. Bitümlü kömür %20 - %30 oranlarında karışıma eklenmiştir. Taşkömürü sert yapısı ve düşük nem değeri

nedeniyle, linyite göre daha zor briketlenmektedir [1,21]. Bu nedenle, oluşturulan karışımlar 840 MPa basınçta briketlenmiştir.

6.7.1. Bitümlü Kömür İlavesinin Linyit - Biyokütle Karışımlarının Düşme Sağlamlığına Etkisi

%20 Bitümlü - %30 Talaş - %50 Linyit ve %30 Bitümlü - %20 Talaş - %50 Linyit içeren karma briketlere, düşme sağlamlığı deneyi yapılmıştır. Bitümlü kömür ilavesinin linyit - talaş karışımlarının düşme sağlamlığına etkisi Şekil 6.11'de görülmektedir.



Şekil 6.11. Bitümlü kömür ilavesinin linyit - talaş karışımlarının düşme sağlamlığına etkisi.

Şekil 6.11'de görüldüğü gibi 840 MPa basınç uygulandığında, bitümlü kömür'ün %20 den %30'a çıkarılması, talaş-bitümlü-lyinyit karma briketinin düşme sağlamlığı değerini azaltmıştır.

Beker, Afşin-Elbistan linyiti ile Sibiryta bitümlü kömürünü karıştırarak, 566 MPa basınç'ta, %50 Linyit ,%50 (Bitümlü-talaş) karışımı içerecek şekilde briketlemiştir. 30% bitümlü - 20% talaş- %50 Linyit içeren karışımın düşme sağlamlığı değerini 1840 olarak bildirmiştir. Bitümlü kömür oranının artışıyla talaş oranının azalması ile düşme sağlamlığı değerinin azaldığını, bitümlü kömürün sert ve linyite göre daha az nem içeren yapısının, bu sonucu doğurduğunu bildirmiştir [21].

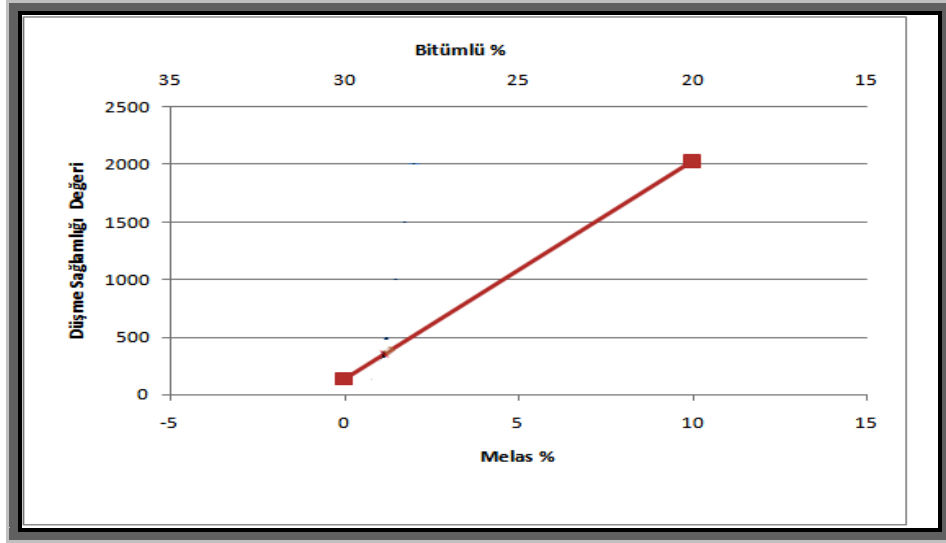
Yaptığımız çalışmada, Şekil 6.11'de görüldüğü gibi bitümlü kömür oranının %20'den (%20 Bitümlü - %30 Talaş - %50 Linyit), %30'a (%30 Bitümlü - %20 Talaş - %50 Linyit) yükseltilmesi, düşme sağlamlığı değerini, 589'dan 132'e düşürmüştür. Bitümlü kömür oranının artışıyla, düşme sağlamlığı değeri azalmıştır. Elde edilen bulgular literatürle uyumludur.

6.7.2. Bitümlü Kömür İlavesinin Linyit - Biyokütle Karışımlarının Suyu Dayanıklılığına Etkisi

Bitümlü kömür ilavesiyle üretilen kömürlerin suya dayanım değerleri oldukça düşüktür. Briketlerin suya dayanımı, 10 sn'nin altındadır.

6.7.3. Bitümlü Kömür - Linyit - Biyokütle Karışımlarına Melas İlave Edilmesinin Düşme Sağlamlığına Etkisi

Bitümlü kömür - linyit - biyokütle karışımlarına melas ilave edilmesinin düşme sağlamlığına etkisini incelemek için hazırlanan karışımlar 566 MPa basınçta briketlenmiştir. Melasın bağlayıcı olarak kullanılmasının üretilen karma briketlerin düşme sağlamlığına etkileri, Şekil 6.12'de görülmektedir. 566 MPa basınçta, melas eklenmeden üretilen, %30 Bitümlü - %20 Talaş - %50 Linyit karma briketinin düşme sağlamlığı değeri 132'dir. Linyit ve talaş değeri sabit tutularak, bu karışıma melas eklendiğinde % 50 Linyit, %20 bitümlü, %20 talaş, %10 melas içeren karma briketinin düşme sağlamlığı değeri 2025'dir. Şekil 6.12'de görüldüğü gibi, melas eklenmesi ile düşme sağlamlığı değerinde yaklaşık 15 katlık bir artış olmuştur.



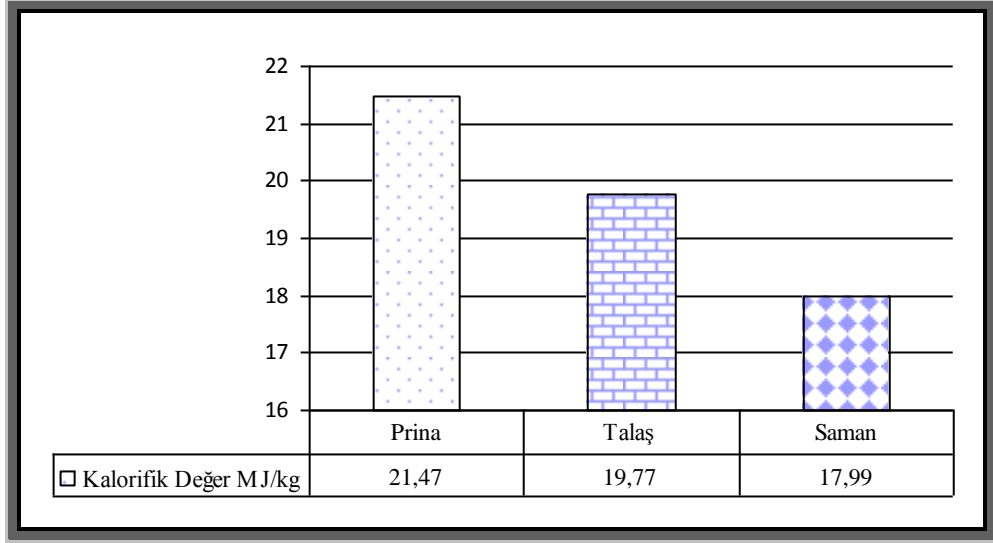
Şekil 6.12. Bitümlü kömür - linyit - talaş- melas karışımının düşme sağlamlığı test sonuçları.

Beker, Afşin-Elbistan linyiti ile Sibiry bitümlü kömürünü karıştırarak, %50 Linyit- %20 Talaş ,%30 (Bitümlü-Melas) karışımı içerecek şekilde, 566 MPa basınç'ta briketlemiştir. Bu karışıma %7-15 melas eklenmesi sonucunda düşme sağlamlığı değerinin 5000 ile 7000 arasında artan değerlerde olduğunu bildirmiştir [21].

Elde edilen bulgular, literatüre uygundur.

6.7. ÜRETİLEN BRİKETLERİN KALORİFİK DEĞERLERİ

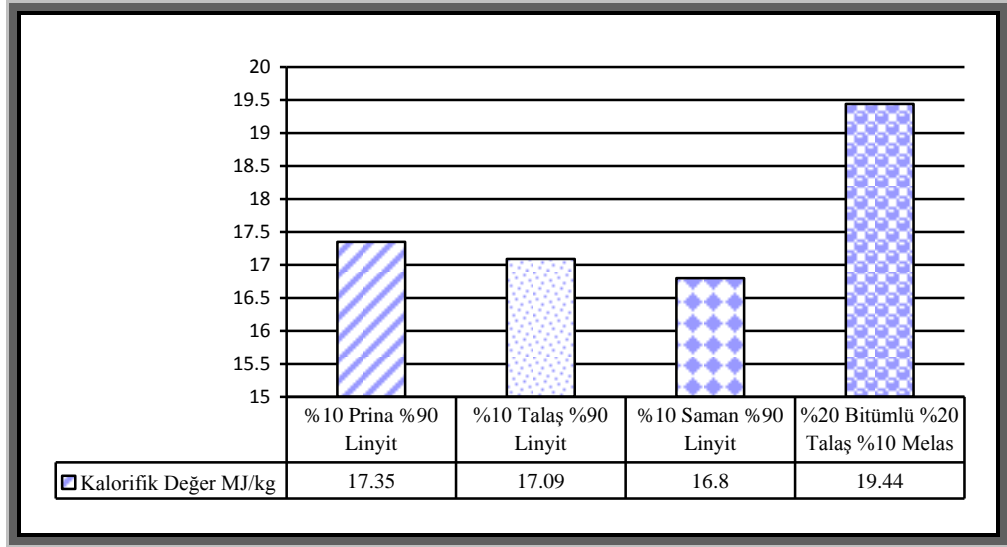
Üretilen bazı karma briketler ile biyokütle briketlerinin kalorifik değerleri (üst ısı değeri), analiz edilmiştir. Yalnızca biyokütle içeren briket numunelerinin kalorifik değer sonuçları Şekil 6.13' de görülmektedir.



Şekil 6.13. Biyokütle briketlerinin kalorifik değer sonuçları.

Şekil 6.13'de görüldüğü gibi, yalnızca biyokütle içeren briketler arasında, en yüksek kalorifik değer, Prina briketine aittir.

Biyokütle-kömür karma briketlerinin kalorifik değer sonuçları, Şekil 6.14' de görülmektedir. Linyit kömürüne % 10 biyokütle eklenmesi ile elde edilen karma briketlerin kalorifik değerleri ile, %20 Bitümlü - %20 Talaş - %10 Melas - %50 Linyit içeren karma briketin kalorifik değeri analiz edilmiştir. Yapılan analizlere göre, bitümlü kömür içeren briketin kalorifik değerinin, diğer karma briketlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.14. Linyit- biyokütle karma briketlerinin kalorifik değer sonuçları.

Kullanılan linyit kömürünün tüvenan haldeki kalorifik değeri, 15.80 MJ/kg'dır. Şekil 6.13'de görüldüğü gibi, kullanılan biyokütle numunelerinin kalorifik değerleri, linyit kömürünün kalorifik değerinden yüksektir. Bu nedenle linyit kömürüne biyokütle ilavesi, Şekil 6.14'de görüldüğü gibi kalorifik değeri yükseltmiştir.

Şekil 6.14'de görüldüğü gibi, % 20 Bitümlü - %20 Talaş - %10 Melas - %50 Linyit içeren karma briketin kalorifik değeri, biyokütle-lyinyit karma briketlerinin kalorifik değerlerinden çok daha yüksektir. Linyit-biyokütle karışımli briketlere kalorifik değeri yüksek bitümlü kömür eklenmesi kalorifik değeri yükseltmiştir.

6.9. ÜRETİLEN BRİKETLERİN KÜKÜRT DEĞERLERİ

Genel literatür bilgilerine göre, biyokütle numuneleri için yapılan elementel analiz sonuçlarında, S ve N değerlerinin çok düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 6.4) [46].

Çizelge 6.4. Biyokütle numunelerinin literatüre göre elementel analiz sonuçları [46].

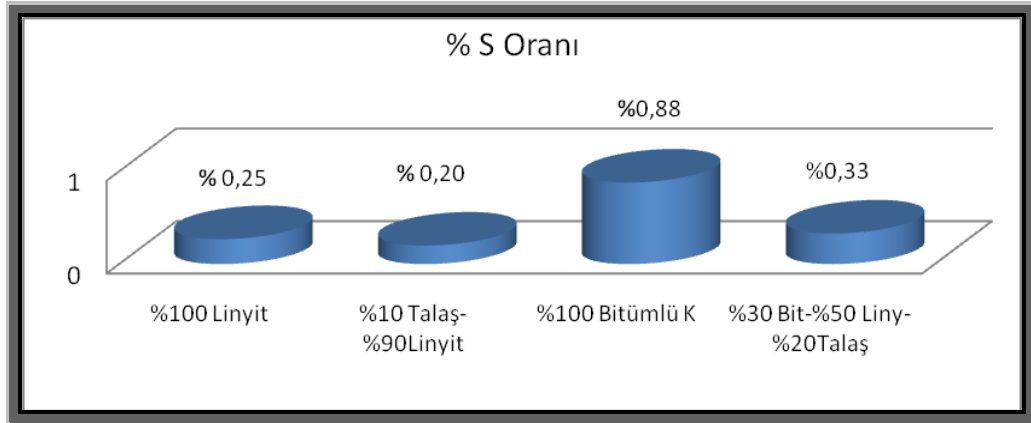
Örnek Adı	C (%)	H (%)	N(%)	Toplam S(%)	O (%)
Prina	54.72	5.24	1.14	0.14	31.97
Talaş	53,53	4,17	0,14	0	40,04
Saman	46,48	5,45	0,33	0,11	38,55

Üretilen bazı briketlerin, kükürt içerikleri, Çizelge 6.5'de görülmektedir. Soma linyitinin S oranı, %0.25, bitümlü taşkömürünün S oranı %0,88 olarak tespit edilmiştir.

Kömür içeriğindeki kükürt ve azot yandığı zaman, hava kirliliğine neden olan SO_x ve NO_x gazı türevlerini oluşturur. Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre briketlerde baca gazına geçen kükürt oranının (yanıcı kükürt) %0,8-1,0'i geçmemesi gerekmektedir [47]. Kullanılan kömür numunelerinin S değerleri standarta uygun olduğu söylenebilir.

Çizelge 6.5. Üretilen briketlerin kükürt içerikleri.

Numune	S (%)
Soma Linyiti	0,25
Taşkömürü	0,88
%10 Talaş - %90 Linyit Briketi	0,20
%30 Bitümlü - %20 Talaş - %50 Linyit Briketi	0,33



Şekil 6.15. Üretilen briketlerin kükürt içerikleri.

Şekil 6.15'de görüldüğü gibi, linyit kömürünün kükürt değeri %0.25'dir. Linyit kömürüne %10 talaş eklenmesi ile oluşan karma briketin kükürt oranı, %0.20'ye düşmüştür. Bitümlü taşkömürünün kükürt değeri %0.88'dir. %30 Bitümlü - %50 Linyit - %20 Talaş içeren karma briketin S değeri %0,33'dür. Sonuç olarak, kömür

numuneleriyle oluşturulan karma briketlerin S değerleri, orjinal kömür numunelerinin S değerlerinden düşüktür.

Türk linyitlerinin karakteristik özelliklerinden biri de S değerlerinin yüksek oluşudur. Örneğin; Tunçbilek linyitinin S değeri'nin %2.03, Orhaneli linyitinin S değerinin %1.65 olarak analiz edildiği literatürde mevcuttur [48,49] . Bu nedenle kükürt oranı yüksek diğer Türk linyitlerinde de karma briket üretimi, içerdikleri S oranını düşürecektir.

Aynı yaklaşım, kül oranı için de düşünülebilir. Kömürdeki kül miktarı ne kadar yüksek ise yanma sonucu oluşan kül miktarı ve bacadan atılan partikül miktarı da o kadar yüksek olur. Bacalardan atılan toz emisyonu ciddi hava kirliliğine neden olur. Deneysel çalışmada kullanılan taşkömürünün ve linyitin kül oranları sırasıyla, %14 - %43'dür. Biyokütlelerin kül oranları ise, talaş %0.59, saman %9,03, prina %4,30'dur. Biyokütlelerin kül oranı, kömür numunelerinin kül oranından düşüktür. Bu nedenle oluşturulacak karma briketlerin kül oranları, kömür numunelerinin kül oranlarına göre düşük olacaktır.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Soma linyit numunesi, bağlayıcı-katkı maddesi eklenmeden ve bağlayıcı-katkı maddesi eklenerek farklı basınç ve karışım oranlarında briketlenmiştir. Katkı maddesi olarak talaş, saman ve prina % 0 - 30 oranlarında linyite eklenmiştir. Bağlayıcı olarak melas ve filtre toprağı % 0 - 15 oranlarında kullanılmıştır. Filtre toprağının bağlayıcı etkisi olup olmadığı incelenmiştir.

Soma linyitine daha yüksek kalorifik değere sahip bitümlü Zonguldak Çatalağı taşkömürü karıştırılarak, biyokütle eşliğinde bağlayıcı eklenmeden ve eklenerek briketlenmiştir. Linyit - Bitümlü karma briketleri % 20 - 30 oranında bitümlü kömür içerecek şekilde hazırlanmıştır.

Ayrıca bağlayıcı madde eklenmeden, %100 biyokütle içeren Prina, Talaş ve Saman briketleri de hazırlanmıştır.

Elde edilen tüm briketlerin mekanik dayanıklılığını belirlemek için düşme sağlamlığı ve suya dayanım deneyleri yapılmıştır. Ayrıca üretilen briketlerin kalorifik değerleri ve S içeriklerinin de karşılaştırıldığı bu çalışmada,

- Yapılan düşme sağlamlığı testleri sonucunda, karma briketler içerisinde en yüksek düşme sağlamlığı değeri, 566 MPa basınçta bağdaştırıcı kullanılmadan üretilen, saman - linyit karma briketlerinde, bağdaştırıcı kullanıldığında ise 566 MPa basınçta, %20 bitümlü - %50 linyit - %20 talaş - %10 melas karma briketi ile %10 prina - %80 linyit - %10 melas karma briketinden elde edilmiştir. Genel olarak briketlere talaş ve samanın ilave edilmesinin düşme sağlamlığı değerini, arttırdığı söylenebilir.

- Melas kullanımı saman briketi dışında, karma briketlerin düşme sağlamlığı değerini arttırmıştır. Saman-lyiyit karışımına, bağlayıcı madde olarak melas ilave edilmesi ile elde edilen briketlerde çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlakların nedeni, briket içeriğindeki kümülatif nem değerinin fazla olmasıdır. Bu nedenle melas kullanımında, linyit kömürünün nem değerinin %15'in altında olması, bu çatlakların oluşmasına engel olup, briketlerin düşme sağlamlığı değerini arttırabilir.
- %100 biyokütle içeren numunelerin bağdaştırıcısız briketlenmesi ile elde edilen briketler içerisinde en yüksek düşme dayanımına ve en yüksek suya dayanıma sahip briketler 708 MPa basınç altında saman numunesinden elde edilmiştir.
- Düşme sağlamlığı değeri'nin, ulusal standartlardaki limit değeri 2000' dir [2-6]. Üretilen briketlerden,
 - %100 saman (566 MPa-708 MPa)
 - %100 talaş briketi (566 MPa-708 MPa)
 - %20 bitümlü - %50 linyit - %20 talaş - %10 melas (566 MPa)
 - %10 prina - %80 linyit - %10 melas (566 MPa)
 standartlarda belirtilen düşme sağlamlığı değerine uygundur.
- Kullanılan Soma linyit numunesinin nem değeri %15'dir. Katkı maddesi eklenmeden, farklı nem içeriklerine sahip linyit numuneleri ile elde edilen briketlerin, düşme sağlamlığı değerleri karşılaştırılarak, linyit kömürünün içermesi gereken optimum nem içeriği belirlenmelidir.
- 840 MPa basınç altında bitümlü kömürün linyit - biyokütle karışımına eklenmesiyle, briketlerin düşme sağlamlığı değeri düşmüştür. Bitümlü kömürün sert ve linyite göre daha az nem içeren yapısı, bu sonucu doğurmuş olabilir.
- Filtre toprağının bağlayıcı madde olarak etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

- Üretilen briketlerin tümünün suya dayanımının zayıf olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle üretilebilecek briketlerin suya dayanıklı torbalarda poşetlenmesi önerilebilir. Ayrıca suya dayanıklılığı arttırmak için, üretilen briketlere ısı işlem uygulanması da önerilebilir.
- Üretilen briketlerin mekanik sağlamlılığının tam olarak belirlenebilmesi için; kırılma dayanımı testi ve tambur testi de uygulanmalıdır.
- Üretilen briketlerin kalorifik değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer biyokütle briketleri arasında, Prina briketine (21,47 MJ/kg) aittir. Karma briketler arasında ise bitümlü ilavesiyle oluşturulan briketlerin kalorifik değerinin, linyit-biyokütle karma briketlerine göre, daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kullanılan linyit kömürünün tüvenan haldeki kalorifik değeri, 15.80 MJ/kg'dır. %10 Prina - %90 Linyit karma briketinin kalorifik değeri 17,35 MJ/kg, %10 Talaş - %90 Linyit briketinin kalorifik değeri 17,09 MJ/kg, %10 Saman - %90 Linyit briketinin kalorifik değeri 16,8 MJ/kg olarak analiz edilmiştir. Biyokütle katkısının linyit-biyokütle karma briketlerinin kalorifik değerini yükselttiği belirlenmiştir.
- Yapılan çalışmada, linyit kömürünün S içeriği %0.25, linyit kömürüne %10 talaş eklenmesi ile oluşturulan karma briketlerin S içeriğinin, %0.20 olduğu, bitümlü kömürün S değerinin %0.88, bitümlü-lyinyit-talaş içeren karma briketlerin S değerinin ise 0.33 olduğu belirlenmiştir. Karma briketlerin S değerlerinin orjinal kömür numunelerinin S değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, kömür ve biyokütle numuneleriyle oluşturulan karma briketlerin, kömür 'e göre, daha çevre dostu bir yakıt olduğu söylenebilir
- Karma briketlerin N, Kül değerleri ve yanma özelliklerinin de araştırılması gereklidir.

Bu çalışmanın sonucunda, ülkemiz biyokütle kaynakları ile düşük kalorili linyit kömürlerinin değerlendirilerek, briketleme işlemi ile ısı değeri ve dayanıklılığı daha yüksek, alternatif bir katı yakıt haline dönüştürülebileceği belirlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, ülkemiz kömürlerinden daha temiz ve verimli enerji üretebilmek, yerli kaynakların enerji üretiminde kullanımını artırarak ekonomiye katkıda bulunabilmek amacıyla, karma yakıt üretimi ve ortak yakma işlemi üzerine endüstriyel boyutta çalışmalar yürütülebilir.

KAYNAKLAR

1. Beker, Ü. G., Kural, O. ve Dağalp, M., “Kömürün briketlenmesi”, Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, Ed: O. Kural, **Özgüb Ofset Matbaacılık A.Ş.**, İstanbul, 1-6, 453-475 (1998).
2. Topal, M. ve Arslan, E., “Biyokütle enerjisi ve Türkiye”, **VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu**, İstanbul, 242, (2008).
3. Başçetinçelik, A. ve Öztürk, H., “Türkiye’de tarımsal biyokütleden enerji üretimi olanakları”, **Makina Mühendisleri Odası Dergisi**, 563: 7-13 (2005).
4. Ünalın, G., "Kömür Jeolojisi", **Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü**, Ankara, 25-28, 350-353 (2010).
5. Devlet Planlama Teşkilatı, “Kömür çalışma grubu raporu”, **Devlet Planlama Teşkilatı Yayınları**, Ankara, Dpt: 2440: 496 (1996).
6. Ulu, F., “Soma deniş kömürü ve ayçekirdeği kabuğu yarıkokunun birlikte briketlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 4-23 (2011).
7. Türkiye Kömür İşletmeleri, “Kömür sektör raporu 2013 - Linyit”, **Türkiye Kömür İşletmeleri**, Ankara, 1-21, (2013).
8. İnternet: Türkiye Taş Kömürü Kurumu, "Taşkömürü Üretimi", <http://www.taskomuru.gov.tr/index.php?page=sayfagoster&id=25> (2014).
9. İnternet : Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “Biyokütle Enerjisi Nedir?”, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi.aspx (2014).
10. Orman Genel Müdürlüğü, “Biyoenjeri raporu”, **Orman Genel Müdürlüğü Eğitim Dairesi**, Ankara, 92 (2009).
11. Karayılmazlar, S., ve Saraçoğlu, N., "Biyokütlenin Türkiye’de enerji üretiminde değerlendirilmesi", **Bartın Orman Fakültesi Dergisi**, 13 (19): 63-75 (2011).
12. Özbay, G., “Odun ve odun esaslı kompozit malzeme talaşlarının termal ve katalitik piroliz yöntemi ile sıvılaştırılması”, Doktora Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 12-18 (2012).
13. Dahiloğlu, E., “Kömür biyokütle karışımlarının briketlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 22-30, 38 (2008).

14. Kaya, D., ve Akgün, F., “Türkiye’nin biyokütle potansiyeli ve enerji dönüşüm sistemlerinde kullanım imkanları”, *Termoklima Dergisi*, 124: 74-80 (2002).
15. İnternet: Osmangazi Üniversitesi, “Kömür Jeolojisi Ders Notları”, <http://jeoloji.ogu.edu.tr/dosyalar/K%C3%B6m%C3%BCr%20Jeolojisi-Eyl%C3%BCl%202013.pdf> (2014).
16. Kural, O., ve Tangör, A., “Briketlemede yeni boyutlar”, *Madencilik Dergisi*, 24: 37-43 (1985).
17. Anıl, M., ve Kılıç, Ö., “İthal ve yerli kömür karışımı ile farklı bağlayıcı maddeler kullanılarak üretilen pres kömürler”, *Türkiye 14. Kömür Kongresi*, Zonguldak, 239-251 (2004).
18. Kılıçarslan, A., “Armutçuk ve Amasra kömürlerinin briketlenmesi ve briketlerin yanma özelliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak (2000).
19. Beker, Ü. G., “Briquetting of Afşin-Elbistan lignite of Turkey using different waste materials”, *Fuel Processing Technology*, 51: 137-144 (1997).
20. Türk Standartları Enstitüsü, “Kömür briketi- ev ısınmasında kullanılan”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (1996).
21. Beker, Ü., Küçükbayrak, S., ve Özer, A., “Briquetting of Afşin-Elbistan lignite”, *Fuel Processing Technology*, 55: 117-127 (1998).
22. Yaman, S., Şahan, M., Haykırı Açma, H., Şeşen, K., ve Küçükbayrak, S., “Production of fuel briquettes from olive refuse and paper mill waste”, *Fuel Processing Technology* 68: 23-31 (2000).
23. Yaman, S., Şahan, M., Haykırı Açma, H., Şeşen, K. ve Küçükbayrak, S., “Fuel briquettes from biomass–lignite blends”, *Fuel Processing Technology*, 72: 1–8 (2001).
24. Deniz, V., ve Kurt, M., “Kale (Denizli) linyitleri ile ithal kömür tozlarının briketlenme olasılığının araştırılması”, *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, Ankara, 133 (2001).
25. Deniz, V., "Saracaova (Nazilli- Aydın) linyit kömür tozlarının briketlenmesi", *Türkiye 13. Kömür Kongresi*, Zonguldak, 197-204 (2002).
26. Bayar, G., ve Yıldırım, M., "Evsel ısıtmada kullanılan neme dayanıklı yakıt briketlerinin hazırlanması", *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27 (2012).
27. Yaman S., “Production of fuel briquettes from olive refuse and paper mill waste”, *Fuel Processing Technology*, 68: 23–31 (2000).

28. Mariusz, J., “CoMParison of quality and production cost of briquettes made from agricultural and forest origin biomass”, *Renewable Energy*, 57: 20-26 (2013).
29. Zhang, X., “The effect of different treatment conditions on biomass binder preparation for lignite briquette”, *Fuel Processing Technology*, 73: 185–196 (2001).
30. Demirbaş, A., “Evaluation of biomass residue Briquetting waste paper and wheat straw mixtures”, *Fuel Processing Technology*, 55: 175–183 (1998).
31. Benk, A., “Bitki atıklarının katı yakıt olarak değerlendirilmesi”, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Kayseri, 259-265 (2003).
32. Zeng, X., “Utilization of straw in biomass energy in China”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11: 976–987 (2007).
33. Kürklü, A., ve Bilgin, S., “Biyokütle briketleme makineleri ve uygulamaları: literatür taraması”, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, Mersin, 252–256 (2005).
34. Fidan, M., “Alternatif enerji kaynağı: katı atıklardan yakıt briket üretimi”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 221-230 (2008).
35. İnternet: Ege Linyit İşletmesi, “Soma Havzasının Kömür Jeolojisi Hakkında Genel Bilgiler”, <http://www.eli.gov.tr/komoz.htm> (2014).
36. İnternet: Türkiye Taş Kömürü Kurumu, “Sektör Raporu”, http://www.taskomuru.gov.tr/file/Is_Zekasi_Raporlari/sector_raporu.pdf (2014).
37. ASTM, “Standard test method for total moisture in coal”, Annual Book of ASTM Standards, *ASTM*, US (2012).
38. ASTM, “Standard test method for ash in the analysis sample of coal and coke from coal”, Annual Book of ASTM Standards, *ASTM*, US (2012).
39. ASTM, “Standard test method for volatile matter in the analysis sample of coal and coke”, Annual Book of ASTM Standards, *ASTM*, US (2012).
40. ISO, “Solid mineral fuels -- determination of gross calorific value by the bomb calorimetric method and calculation of net calorific value”, 1928:2009, *ISO Standards*, US (2009).
41. ASTM, “Test methods for sulfur in the analysis sample of coal and coke using high-temperature tube furnace combustion methods”, Annual Book of ASTM Standards, *ASTM*, US (2012).
42. Türk Standartları Enstitüsü, “Katı biyoyakıtlar - rutubet muhtevası tayini”, TS EN 14774-3, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2010).

43. Türk Standartları Enstitüsü, “Katı biyoyakıtlar - kül muhtevasının tayini”, TS EN 14775, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara (2010).
44. Türk Standartları Enstitüsü, “Katı biyoyakıtlar - Isıl değerin tayini”, TS EN 14918, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara (2010).
45. ASTM, “Standard test method of drop shatter test for coal”, Annual Book of ASTM Standards, **ASTM**, US (2007).
46. Tırıs, Ç., "Biyokütle enerji içerikleri ve biyokütle karakterizasyonu", Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü 2014 Kış Okulu, **TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü** , Gebze-Kocaeli, 85 (2014).
47. Resmi Gazete, “Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği”, **Resmi Gazete**, 25699: 1-26 (2005).
48. Çubuk, M., ve Heperkan, H., “Kömür yakma sistemlerinde SO2 emisyon etkisinin yakma şartlarında değerlendirilmesi”, **Tesisat Dergisi**, 61:74 (2000).
49. Karacan, F., ve Albayrak, M., “Fiziksel ve kimyasal temizleme tekniklerinin Tunçbilek linyitinin inorganik bileşimi üzerine etkisinin incelenmesi”, **II. Ulusal Kimya Mühendisleri Kongresi**, Eskişehir, 44-48 (2014).

ÖZGEÇMİŞ

17.07.1980 Karabük doğumlu olan Kimya Müh. Tuba COŞKUN, 1997 yılında Karabük İmam Hatip Lisesinden, 2003 yılında Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Çeşitli işletmelerde görev aldıktan sonra, 2012 yılında Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır.