

**KÖMÜR BİYOKÜTLE KARIŞIMLARININ
BRİKETLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kim. Müh. Emine DAHILOĞLU

Anabilim Dalı: KİMYA MÜHENDİSLİĞİ

Programı: KİMYA MÜHENDİSLİĞİ

EKİM 2008

**KÖMÜR BİYOKÜTLE KARIŞIMLARININ
BRİKETLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kim. Müh. Emine DAHILOĞLU
(506051008)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Ağustos 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Ekim 2008**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Hanzade AÇMA
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ayşe AKSOY (İ.T.Ü)
Prof.Dr. Esen BOLAT (Y.T.Ü)**

EKİM 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı titizlikle yöneten, her türlü teşvik ve fedakarlıklarını esirgemeyen, fikir ve önerilerinden faydalandığım, manevi desteğini her an hissettiğim, saygı değer hocam Doç. Dr. Hanzade AÇMA' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda, yardımlarını ve desteğini esirgemeyen Dr. Ayşe ARİFOĞLU' na ve Dr. Melek EROL' a teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarım esnasında, bana yardımcı olan Prof. Dr. Serdar YAMAN' a, Prof. Dr. Kelami ŞEŞEN'e, Prof. Dr. M. Ercan AÇMA' ya ve Sayın Mızrap CANİBEYAZ' a teşekkürü bir borç bilirim.

Kemerköy, Yeniköy, Yatağan Termik Santralleri Baca Gazı Tesis Müdürü Sayın Mak. Müh. Ali Rıza KÖKNAL' a kömür numunelerinin sağlanmasındaki desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca, aynı laboratuvarı paylaşmış olduğum Kim. Müh. Özge ÇELEBİCAN' a, tezimin her aşamasında daima yanımda olup, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen arkadaşım Kim. Yük. Müh. Aslı İŞLER' e ve tezim süresince yanımda bulunan tüm dostlarıma çok teşekkür ederim.

Herşeyimi paylaştığım, benden hiçbir zaman sevgisini ve desteğini eksik etmeyen Finans Uzmanı Ş. Cumhur ÖZYILDIRIM' a sevgiyle teşekkür ederim.

Biricik kardeşim geleceğin Fizik Müh. Sunay' a, beni bugünlere getiren, sınırsız özverileri ile her türlü olanağı sağlayan, her zaman sevgisini, ilgisini hissettiğim ve bana verdikleri destek ile hayatta herşeyi başarmamı sağlayan anne ve babama en derin duygularıyla teşekkür ederim.

Eylül 2008

Kim. Müh. Emine DAHILOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. KÖMÜRÜN BRİKETLENMESİ	3
2.1 Briketleme Hakkında Genel Bilgiler	3
2.2 Briketlemenin Yararları	5
2.3 Briketleme Teorileri	6
2.3.1 Bitüm Teorisi	6
2.3.2 Moleküler Enerji Teorisi	7
2.3.3 Kapiler Teorisi	8
2.3.4 Birbirine Geçme Teorisi	8
2.3.5 Adhezyon Teorisi	9
2.4 Kömürün Briketlenmesine Etki Eden Faktörler	9
2.4.1 Kömürün Petrografik Özellikleri	9
2.4.2 Yapısal Özellikler	10
2.4.3 Nem İçeriği	11
2.4.4 Kömürün Mineral Madde İçeriği	12
2.4.5 Tanecik Boyutu	12
2.4.6 Presleme Basıncı ve Süresi	13
2.4.7 Briketleme Sıcaklığı	13
2.4.8 Briketin Şekli ve Ağırlığı	14
2.4.9 Katkı Maddesinin Özellikleri	14
2.4.10 Briketlerin Gözenekliliği	14
2.4.11 Kömürün Kurutulma Şartları	15
2.4.12 Isıl İşlem	15
2.5 Briketlerde Aranılan Özellikler	15
2.5.1 Briketlerin Mekanik Sağlamlığı	16
2.5.1.1 Briketlerin Düşme Sağlamlığı (Shatter İndeksi)	16
2.5.1.2 Briketlerin Kırılma Sağlamlığı	16
2.5.1.3 Briketlerin Aşınma Sağlamlığı (Tambur Testi)	17
2.5.2 Briketlerin Hava Şartlarına Dayanıklılığı	17
2.5.3 Briketlerin Yanma Özellikleri	17
2.6 Türk Linyitleri Kullanılarak Yapılan Bazı Briketleme Çalışmaları	18
3. BİYOKÜTLE ENERJİSİ	22
3.1 Türkiye’de Biyokütle Enerjisi	24
3.2 Türkiye’nin Biyokütle Çeşitleri ve Atık Potansiyelleri	27
3.2.1 Tarımsal Atıklar	27

3.2.2 Hayvansal Atıklar	28
3.2.3 Kentsel Atıklar	28
3.2.3.1 Çöpler	28
3.2.3.2 Kanalizasyon Çamuru	28
3.2.4 Gıda ve Diğer Endüstri Atıkları	28
3.2.4.1 Mezbaha Atıkları	28
3.2.4.2 Süt İşletmelerindeki Atıklar	28
3.2.4.3 Meyve ve Sebze İşletmeleri Atıkları	29
3.2.4.4 Yağ Endüstrisi Atıkları	29
3.2.4.5 Şeker Endüstrisi Atıkları	29
3.2.4.6 Alkollü İçecekler Endüstrisi Atıkları	29
3.2.5 Diğer Endüstriler Atıkları	30
3.2.6 Orman Atıkları	30
3.3 Biyokütlenin Yapısı	30
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
4.1. Kömür ve Biyokütle Numunelerinin Tanıtımı	32
4.2. Kömür ve Biyokütle Numunelerine Uygulanan Analizler	33
4.3. Briketleme Deneylerinde Kullanılan Cihazlar	37
4.3.1. Briketleme Presi	37
4.3.2. Briketleme Kalıbı	38
4.4. Briketleme Deneylerinin Çalışma Koşulları	39
4.5 Üretilen Briket Numunelerine Uygulanan Testler	40
4.5.1 Düşme Sağlamlığı Testinin Uygulanışı	40
4.5.2 Kırılma Sağlamlığı Testinin Uygulanışı	41
4.5.3 Suya Dayanım Testinin Uygulanışı	41
5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	42
5.1 Uygulanan Basıncın Briket Özelliklerine Etkileri	42
5.2. Biyokütle Katkı Oranlarının Briket Özelliklerine Etkileri	45
5.3 Bağlayıcı Kullanımının Linyit-Biyokütle Karma Briketlerinin Özelliklerine Etkileri	48
5.3.1 Melasın Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Etkileri	48
5.3.2 Linobindin Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Etkileri	51
5.3.3 Sülfite Likörünün Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Etkileri	52
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	56
6.1. Sonuçlar	56
6.2. Öneriler	57
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	62

TABLO LİSTESİ

	<u>SayfaNo</u>
Tablo 3.1 Bazı Tarım Ürünlerinin Türkiye'deki Yıllık Üretim Potansiyelleri.....	25
Tablo 3.2 Türkiye'deki Biyokütle Kuru Atık Potansiyelleri.....	26
Tablo 3.3 Türkiye'de Üretilen ve Tüketilen Enerji Kaynaklarının Dağılımı...	27
Tablo 4.1 Bazı Termik Santrallerde Kullanılan Kömürlerin Kısa Analiz Sonuçları.....	36
Tablo 4.2 Biyokütle Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları.....	36
Tablo 4.3 Termik Santrallerde Kullanılan Kömürlerin Isıl Değerleri.....	37
Tablo 4.4 Biyokütle Numunelerinin Isıl Değerleri.....	37

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>SayfaNo</u>
Şekil 2.1 : Kömür tanesinde suyun dağılımı.....	8
Şekil 2.2 : Yumurta Şeklinde Bir Briketin Kırılma Sağlamlığının Tespiti..	16
Şekil 3.1 : Odun Mikroelyafının Yapısal Modeli.....	31
Şekil 4.1 : Afşin-Elbistan Linyiti Numunesinin Kümülatif Elek Analiz Sonucu.....	33
Şekil 4.2 : Fındık Kabuğu Numunesinin Kümülatif Elek Analiz Sonucu...	34
Şekil 4.3 : Pirina Numunesinin Kümülatif Elek Analiz Sonucu.....	34
Şekil 4.4 : Ayçiçeği Kabuğu Numunesinin Kümülatif Elek Anliz Sonucu	35
Şekil 4.5 : Pirinç Kabuğu Numunesinin Kümülatif Elek Analiz Sonucu...	35
Şekil 4.6 : Deneyleerde Kullanılan Briketleme Presi.....	38
Şekil 4.7 : Briketlemede Kullanılan Kalıbın Boyutları.....	39
Şekil 4.8 : Üretilen Kömür ve Biyokütle Briketleri.....	40
Şekil 4.9 : Düşme Sağlamlığı Testlerinde Kullanılan Düzenek.....	41
Şekil 5.1 : Briketleme Basıncının Üretilen Briket Numunelerinin Düşme Sağlamlığına Etkisi.....	43
Şekil 5.2 : Briketleme Basıncının Üretilen Briket Numunelerinin Kırılma Sağlamlığına Etkisi.....	43
Şekil 5.3 : Briketleme Basıncının Üretilen Briket Numunelerinin Suya Dayanıklılığına Etkisi.....	44
Şekil 5.4 : Biyokütle İlavesinin Üretilen Briket Numunelerinin Düşme Sağlamlığına Etkisi.....	45
Şekil 5.5 : Biyokütle İlavesinin Üretilen Briket Numunelerinin Kırılma Sağlamlığına Etkisi.....	46
Şekil 5.6 : Biyokütle İlavesinin Üretilen Briket Numunelerinin Suya Dayanıklılığına Etkisi.....	47
Şekil 5.7 : Melasın Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Düşme Sağlamlığına Etkileri.....	49
Şekil 5.8 : Melasın Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Kırılma Sağlamlığına Etkisi.....	49
Şekil 5.9 : Melasın Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Suya Dayanıklılığına Etkisi.....	50
Şekil 5.10 : Linobindin Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Düşme Sağlamlığına Etkileri.....	51
Şekil 5.11 : Linobindin Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Kırılma Sağlamlığına Etkisi.....	52
Şekil 5.12 : Linobindin Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Suya Dayanıklılığına Etkisi.....	53

Şekil 5.13	: Sülfid Likörünün Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Düşme Sağlamlığına Etkileri.....	53
Şekil 5.14	: Sülfid Likörünün Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Kırılma Sağlamlığına Etkisi.....	54
Şekil 5.15	: Sülfid Likörünün Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Suya Dayanıklılığına Etkisi.....	55

KÖMÜR VE BİYOKÜTLE KARIŞIMLARININ BRİKETLENMESİ

ÖZET

Türkiyede 8.4 milyar ton linyit rezervi mevcut olmasına rağmen, linyitlerimiz ev yakıtı olarak sınırlı bir şekilde kullanılmakta, ısınmada daha çok ithalata dayalı doğalgaz, petrol, ve ithal kömür kullanılmaktadır. Ülkemizde linyit işletmeciliği, linyitlerin ocaktan çıkarıldığı gibi tüvenan olarak satılması ile gerçekleşmektedir. Linyit kömürleri elenerek parça kısımları yakıt olarak evlerde ve küçük ölçekli sanayi tesislerinde kullanılmakta ince taneli ve toz kısımlar ise termik santrallerde yakılmaktadır. Linyitlerimizin büyük bölümü yüksek oranda nem, kükürt ve uçucu madde içermektedir. Türk linyitleri yüksek nem içerikleri nedeniyle kolaylıkla tozlaşmaktadır. Bu tozlar ızgaralı soba ve kalorifer kazanlarında yakılamamaktadır. İnce taneli ve toz linyitlerin yakılması sırasında bacadan yanmamış tanecikler taşınmaktadır. Ayrıca İnce taneli ve toz kömürlerin nakliyesinde, depolanmasında çeşitli problemler ortaya çıkmaktadır. Linyitlerimizdeki bu olumsuz etkileri azaltmak için uygulanabilecek en etkin yöntem briketlemedir. Fosil enerji kaynaklarının yakın bir gelecekte tükenecek olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının içinde önemli bir potansiyele sahip olan biyokütle enerjisinin kullanımının yaygınlaşmasını gerektirmektedir. Ülkemizin biyokütle potansiyeli içinde en yüksek paya Dünya üretim ve ihracatının %75-80'ini gerçekleştirdiğimiz fındık, yıllık 150 000 t rekolte ile pirina ve 860 000 t rekolte ile ayçiçeği sahiptir. Bu çalışmada ülkemizdeki farklı termik santrallerde (Tunçbilek, Afşin Elbistan, Sivas-Kangal, Orhaneli Yatağan, Soma, Kemerköy, Çan) kullanılan farklı özelliklere sahip linyit kömürleri, biyokütle ile karıştırılıp briketlenmesi açısından incelenmiş ve Afşin Elbistan linyiti seçilmiştir. Afşin Elbistan linyiti ve biyokütle numuneleri (fındık kabuğu, yağsız pirina ve ayçiçeği ile pirinç kabuğu) farklı çalışma şartlarında standartlara uygun ve sağlam briketler üretmek amacıyla (bağlayıcı ilaveli ve ilavesiz) briketlenmiştir. Bağlayıcı olarak farklı oranlarda melas, linobind ve sülfite likörü kullanılmıştır. Briket numunelerinin suya dayanım, kırılma ve düşme sağlamlık testleri gerçekleştirilmiştir. En uygun briketleme basıncının 60t, biyokütle oranının % 5 olduğu saptanmıştır. Bağlayıcı olarak melas ve sülfite likörü kullanımının, briketlerin suya dayanıklılıklarını artırdığı görülmüştür. Bağlayıcı kullanımının üretilen briket numunelerinin düşme ve kırılma sağlamlıklarına ise olumlu bir etkisi olmadığı saptanmıştır.

BRIQUETTING OF COAL AND BIOMASS MIXTURES

SUMMARY

In spite of a lignite reserve of 8.4 billion ton present in Turkey, lignite coals are unfortunately used in domestic heating at undesirable level. Imported natural gas, oil, and bituminous coal meet most of the need for heating purposes. In Turkey, lignite is extracted and directly sold as an original lignite disposal. After lignite coals have been sieved, big pieces are employed in houses and at industrial factories of small scales, but dust and small pieces are used in power plants as a fuel. Our lignite sources contain appreciable amount of moisture, sulphur and volatile matter. Moreover, they are readily converted into dust due to high moisture content and fragile structure. However, lignite dusts can not be burned in stoves equipped with grates or central heating furnaces. During the combustion of lignite dust and fine particles, unburned particles are carried away from chimney. Besides, dust formation leads to serious problems during storage and transformation too. Briquetting is the most important solution for this problem. Because fossil energy reserves have already started to run out, the use of biomass energy, which has an important potential among all the renewable energy reserves, is a must. The most important apportionments in the biomass potential in Turkey are hazelnut, which has 75-80% of the World Annual Production, and olive residue of 150.000 t production capacity per annum and sunflower of 860.000 t production capacity per annum. In this study, different type of lignite species, which are currently used in power plants (Tunçbilek, Afşin Elbistan, Kangal, Yatağan, Soma and Kemerköy) and biomass samples (hazelnut shells, olive residue sunflower and rice shells) was employed to obtain fuel briquettes. Afşin-Elbistan lignite was chosen as the most appropriate one. Afşin-Elbistan lignite and the biomass samples (hazelnut shell, olive residue, sunflower and rice husk) were briquetted in different conditions (with or without a binder) to be able to produce durable briquettes. Melas, linobind and sulphur in different ratios were used as binders. Water resistance, compressive strength and shatter Index of the briquettes were measured. Briquetting pressure of 60t and the biomass ratio of 5% were determined as the most appropriate values for the briquetting. It was clearly seen that the usage of melas and sulphur as binders increased the water resistance of the briquettes. It was also determined that the usage of binder in the produced briquette samples had not any positive effect on the compressive strength and shatter Index.

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Türkiye’de 8.4 milyar ton linyit rezervi mevcut olmasına rağmen, linyitlerimiz ev yakıtı olarak sınırlı bir şekilde kullanılmakta, ısınmada daha çok ithalata dayalı doğalgaz, petrol, ve ithal kömür kullanılmaktadır. Ülkemizde linyit işletmeciliği, linyitlerin ocaktan çıkarıldığı gibi tüvenan olarak satılması ile gerçekleşmektedir. Linyit kömürleri elenerek parça kısımları yakıt olarak evlerde ve küçük ölçekli sanayi tesislerinde kullanılmakta ince taneli ve toz kısımlar ise termik santrallerde yakılmaktadır. Linyitlerimizin büyük bölümü yüksek oranda nem, kükürt ve uçucu madde içermektedir. Türk linyitleri yüksek nem içerikleri nedeniyle kolaylıkla tozlaşmaktadır. Bu tozlar ızgaralı soba ve kalorifer kazanlarında yakılamamaktadır. İnce taneli ve toz linyitlerin yakılması sırasında bacadan yanmamış tanecikler taşınmaktadır. Ayrıca ince taneli ve toz kömürlerin nakliyesinde, depolanmasında çeşitli problemler ortaya çıkmaktadır. Linyitlerimizdeki bu olumsuz etkileri azaltmak için uygulanabilecek en etkin yöntem briketlemedir.

Petrol ve doğalgazın yakın bir gelecekte tükenecek olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının içinde önemli bir potansiyele sahip olan biyokütle enerjisinin kullanımının yaygınlaşmasını gerektirmektedir. Ülkemizin biyokütle potansiyeli içinde en yüksek paya Dünya üretim ve ihracatının % 75-80’ini gerçekleştirdiğimiz fındık, yıllık 150.000 ton rekolte ile pirina ve 860.000 ton rekolte ile ayçiçeği sahiptir. Dünya genelinde ise, pirinç kabuğu atık biyokütle potansiyeli içinde önemli bir yer tutmaktadır.

Bu çalışmada, ülkemizdeki farklı termik santrallerde (Tunçbilek, Afşin-Elbistan, Sivas-Kangal, Yatağan, Soma, Orhaneli, Kemerköy, Çan) kullanılan farklı özelliklere sahip 8 adet linyit kömürü incelenmiş ve Afşin-Elbistan linyit kömürü diğer 7 adet linyit numunesinden daha düşük ısıl değere ve en yüksek (%) küle sahip ve Türkiye’nin linyit rezervi en yüksek kömürü olmasından dolayı, briketleme çalışmalarında kullanılacak linyit kömürü numunesi olarak seçilmiştir. Biyokütle numuneleri (fındık kabuğu, yağsız pirina ve ayçiçeği ile pirinç kabuğu) farklı çalışma şartlarında (bağlayıcı ilaveli ve ilavesiz, farklı oranlarda ve basınçlarda) kömür ile

birlikte briketlenmiştir. Uygun basınç, biyokütle oranı ve farklı bağlayıcıların (melas, linobind, sülfid likörü) ilavesi ile üretilen briketlerin suya dayanım, düşme ve kırılma sağlamlığı özellikleri araştırılmıştır.

2. KÖMÜRÜN BRİKETLENMESİ

2.1 Briketleme Hakkında Genel Bilgiler

Kömür enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Ülkemizde özellikle taşkömürü rezervlerimizin çok sınırlı olması sebebiyle, linyit kömürleri ısınmada büyük paya sahip bir enerji kaynağı konumundadır.

Toplam rezervi 8.4 milyar ton olan linyitlerimiz, halen ulusal fosil enerji kaynakları içinde en yüksek rezerve sahip olan ve ülkemizin hemen her bölgesine dağılmış olan bir enerji kaynağıdır. Türkiye linyit rezervi açısından Avrupa ülkeleri arasında beşinci sırada yer almaktadır [1].

Kömür üretiminde cevher hazırlama ve nakliye sırasında büyük miktarda toz kömür ve ufak taneli kömür parçaları meydana gelmektedir. Kömürleşme derecesine bağlı olarak, düşük ve yüksek oranda su içeren yumuşak linyitler stoklama sırasında hava koşullarının etkisiyle kuruyarak parçalanmakta ve ufalanmaktadırlar. Kömürleşme derecesi yüksek sert linyitlerde tozlaşma çoğunlukla üretim sırasında oluşmaktadır. Bu tozlaşan düşük kaliteli kömürleri soba ve kalorifer kazanlarında verimli bir şekilde yakmak mümkün değildir.

Ocaktan çıktığı haliyle ev yakıtı olarak kullanılması mümkün olmayan büyük miktardaki kömürün briketlenerek ev yakıtı haline dönüştürülmesiyle, hem yakıt açığının kapatılması sağlanmış olacak, hem de tarımda veya sanayide kullanılması gereken odun, tezek ve bitki artıkların yanlış tüketiminin de bir ölçüde önüne geçilmiş olacaktır [2].

Bu konudaki en eski kitaplarda briketleme, “çok ince taneli malzemenin bir pres vasıtasıyla daha büyük parçalar haline dönüştürülmesi” olarak tarif edilmektedir. Preslenen malzeme parça haline geldikten sonra yol, bina, vb. yerlerde uzun ömürlü olacak şekilde kullanılıyor ise, elde edilen ürün tuğla veya blok, eğer ürün herhangi bir yerde yanarak, eriyerek veya redükte edilerek kullanılıyor ise, briket olarak adlandırılmaktadır [3].

Kömürün briketlemesi ise en genel anlamı ile toz halindeki kömürün, uygun şartlarda ısıtarak ve/veya çeşitli katkı maddeleri ile karıştırarak, bir kalıp içerisinde preslenmesi sonucu küp, yastık, silindir veya yumurta gibi şekillerde, sağlam, kaliteli, kömürün su oranı belirli bir seviyeye düşürülmüş, ısı değeri yüksek tekdüze bir yakıt haline dönüştürülmesi işlemidir [1].

Briketleme;

Uygulanan sıcaklık bakımından,

- Sıcak briketleme
- Soğuk briketleme

Kullanılma amacına göre,

- Sanayi tipi briketleme
- Ev yakıtı tipi briketleme

Uygulanan yöntemine göre,

- Katkı maddeli briketleme
- Katkı maddesiz briketleme

olarak gruplandırılabilir.

Briketleme yönteminin peletleme ve sinterleme yöntemlerine göre şu üstünlükleri vardır [4]:

- Briketleme tesisleri daha düşük bir yatırımla kurulabildiği gibi, yüksek ısısal işlemlere gerek olmadığından, üretim maliyeti de düşmektedir.
- Daha yüksek kapasiteyle çalışmaya olanak sağlamaktadır.
- Kömür briketlerini kurutmak daha ucuz ve kısa sürelidir.
- Kömür briketi sağlam bir yapıya sahip olduğu için, paketleme ve nakliyat sırasında tozlaşmaz, ufalanmaz.

2.2 Briketlemenin Yararları

Yaygın olarak kömürün briketlenmesinin iki ana nedeni vardır;

- Yeterli ısı değere sahip olmakla birlikte, uygulanan madencilik tekniği sebebiyle tozlaşan kömürleri değerlendirmek,
- Yüksek su içerikleri nedeniyle tüvenan olarak yakılması güç olan genç kömürlerin, kurutma yoluyla ısı değerlerinin artırılması ve ardından briketleme ile yüksek ısı değerli sağlam bir yakıt haline dönüştürülmesidir.

Böylece, toz veya ince taneli, bitümlü veya yarı bitümlü kömürlerin briketleme sonucu maliyetinde bir artış gözlenirken, istenilen kalitede yüksek ısı değere sahip briket kömürleri elde edilir. Kırılgan ve yüksek su içerikli linyitler, yüksek ısı değerli ve sağlam bir yakıt haline dönüştürülmektedir [1,5].

Briketlemenin yararları şöyle özetlenebilir [1,6];

- Tozlaşma ve toz kaybını önlemek,
- Yakma sırasında kömürün ızgara altına düşmesini engellemek,
- Tozların baca gazları ile sürüklenerek atmosfere geçmesini önlemek, dolayısı ile hava kirliliğini azaltmak,
- Kömürün stokta kendi kendine tutuşma eğilimini azaltmak,
- Kömürün hacmini azaltarak depolama ve nakliyatta kazanç sağlamak,
- Yığın içinde belirli gözeneklilik ve geçirgenlik sağlanmak,
- Belirli özelliklerde ve aynı kalitede yakıt üretmek,
- Kullanım için gerekli tane iriliğini sağlamak,
- Isıl değeri düşük, nem içeriği yüksek kömürleri briketleme öncesinde kurutarak ısı değeri artırmak ve nakliye masrafını azaltmak,
- Kullanılan katkı maddeleri sayesinde, kömür içeriğindeki kükürtlü bileşiklerin yanma esnasında tutulmasıyla, hava kirliliğinin önemli ölçüde engellemektir.

2.3 Briketleme Teorileri

Briketleme işleminin hangi faktörlere bağlı olduğunun bilimsel yönden açıklaması ve briketleme tekniğinin geliştirilmesi için, uzun yıllar farklı teoriler öne sürülmüştür. Teorilerin hiçbiri tek başına briketleme olayının açıklanmasına kesinlik kazandırmamıştır. Araştırmalar ve bazı pratik denemeler yeni görüşlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır [1].

Çok uzun yıllardan beri briketleme tekniği uygulanmasına rağmen, her çeşit kömüre uyacak bir yöntem geliştirilememiştir. Yapılan araştırmalara göre, teoriler şöyle sınıflandırılabilir:

1. Bitüm Teorisi,
2. Moleküler Enerji Teorisi,
3. Kapiler Teorisi (Kegel Teorisi),
4. Kenetlenme Teorisi (Birbirine Geçme Teorisi),
5. Koklaşma Teorisi,
6. Hümik Asit Teorisi,
7. Adhezyon Teorisi,
8. Kolloidal Teori,
9. Hidrojen Bağı Teorisi,
10. Plastik Sınır Teorisi.

2.3.1 Bitüm Teorisi

Briketlemeyi açıklayan ilk teorilerden biri olan “Bitüm Teorisi”, Vollart, Preipig, Wendtland, Scheithaver ve Hurte gibi bilim adamları tarafından öne sürülmüştür [7-8]. Bu teoriye göre briketleme; kömür içindeki bitümlerin, yüksek basınçta ve 80-100°C’de ergiyip kömür taneciklerinin etrafını ve briket yüzeyini kaplayarak parçalanmış kömürü bir arada tutmasıdır. Briketlemeyi etkileyen en önemli parametrenin kömürün nem içeriğinin olduğu düşünülürken, kömür tane boyutunun küçülmesinin briketlerin dış etkilere karşı dayanıklılığını artırdığı savunulmuştur [7].

Scheithaver [9], kömürün bitüm içeriği ile presleme basıncının etkilerini incelemiş ve dayanıklı briket üretebilmek için kömürün bitüm içeriğinin en az %2-6, en çok %13-

14 arasında olması gerektiğini saptamıştır. Ayrıca, toprak görünümlü, hafif ve bitüm yönünden zengin olan yumuşak kömürlerin çok az bir basınçla sağlam briketler oluşturduğunu da belirlemiştir.

Konuya fiziksel açıdan bakılmış olup; bağ oluşumunun, briketin sıkıştırılması sırasında değil basınç kalktığında, yani pres pistonunun geri gidişi anında olduğu şeklinde açıklanmıştır. 80-100°C'e kadar ısınan bitümlerin üzerinden basıncın kalkması ile birlikte ani bir basınç boşalmasına uğrayarak sıvılaşması ile sıvı hale geçen bitümün, kömür parçacıklarının yüzeyini kaplayarak homojen bir yapı oluşturması şeklinde açıklanmıştır [8].

Kömürün bitümleri ile briketlenebilmesindeki etkenler ise; kömürün su içeriği, tane boyutu, briketleme sıcaklığı, kömür külü ve cinsi, briketleme basıncı olarak sıralanabilir[10].

2.3.2 Moleküler Enerji Teorisi

Kegel [11] tarafından ileri sürülen teoriye göre; bağlanma, kömür parçacıklarının yüzey molekülleri ile gerçekleşmektedir. Tane boyutunun küçülmesi sonucunda parça yüzey alanı büyüyeceğinden, moleküler enerji artacaktır. İnce taneli linyit kullanılması briketlerin mukavemetini artıracığından, özellikle katkı maddesiz briketlemede, ince boyut tercih edilmektedir.

Tanecik boyutunu belirlemedeki diğer önemli parametre ise, kırma ve öğütme maliyetleridir. Moleküler kuvvetlerden en fazla yararlanmak amacıyla yüksek basınçlar uygulanır; böylece, taneler birbirine mümkün olduğu kadar yaklaşmış olur. Briketlemede iri taneli kömürler kullanılırsa, uygulanan basıncın etkisiyle bağlanma gerçekleşmeden önce daha küçük tanecikler oluşmaktadır. Bu briketleme süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Presleme süresinin kısalması da briketleme işleminin maliyetlerini olumlu yönde etkilediği için, kömür taneciklerinin preslemeden önce optimum tanecik boyutuna getirilmesi gerekmektedir [1].

Bir kısmı yüzey, bir kısmı ise kapillerler içinde dolmuş olan bünye suyunun, presleme sırasında kapiller hacminin daralması sonucunda yüzeye çıkarak, bağlama işini gerçekleştiren moleküler enerjiyi etkisiz kılacağı da vurgulanmıştır.

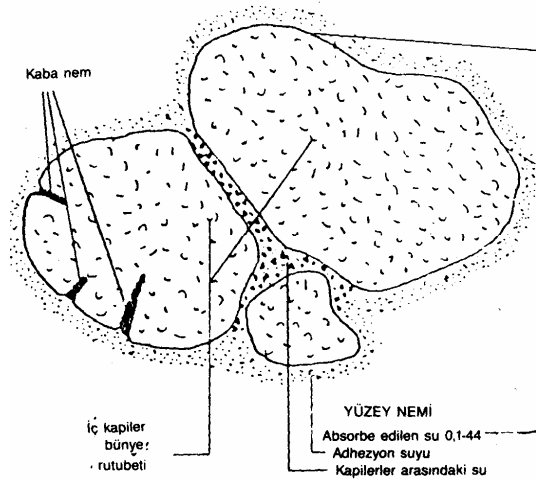
Diğer yandan, optimum nem oranının belirlenmesi de presleme anında ortaya çıkan bünye neminin olumsuz etkisini gidermek bakımından önemlidir [10].

2.3.3 Kapiler Teorisi

Kömürün yapısı, çeşitli boyutlardaki kapillerleri ve nem içeriği ile bal peteği gibidir (Şekil 2.1). Kömürün nem içeriğinin % 12'si mikron ve daha küçük çaptaki kapilerinde, geri kalanı ise büyük çaplı gözeneklerde toplanmaktadır [1].

Kapiler teoride, kömür taneciklerinin basınç altında birbirine bağlanması, tanecikler arasında var olan kohezyon kuvvetlerine dayandırılmaktadır. Bu teori briketlemeyi, kömürün kapilerindeki suyun yüksek basınçta dışarı çıkıp, diğer kapilerlerdeki su molekülleri ile birleşip bağlanması ile açıklamaktadır. Basınç kalktığında, suyun bir kısmı kapiler bünyesine geri döndüğü için taneler arasında yakın teması sağlayan ve doğal katkı maddesi gibi vazife gören ince bir film tabakası oluşmaktadır. Bu şartlarda katkı maddesi kömürün kendi bünyesinden sağlanmış olmaktadır. En yüksek dayanıklılığa sahip briket üretimi için gerekli olan su miktarının %12-20 arasında değiştiği savunulmaktadır.

Ayrıca bu teoriye göre; ekster pres kullanıldığında % 5 nem içeren kömürler için 2000 kg/cm² lik presleme basıncı, merdaneli presler kullanıldığında % 6-10 arasında nem içeren kömürler için 1600-2000 kg/cm² lik basınç uygulaması önerilmektedir [8].



Şekil 2.1: Kömür tanesinde suyun dağılımı [12]

2.3.4 Birbirine Geçme Teorisi

1920'li yıllarda bitümsüz kömürlerle yapılan briketlerin daha sağlam olacağı konusunda açıklamalar yapılmıştır [13]. Bu teori, bitüm teorisine karşıdır. Bu

araştırmalarda, kömür briketleri benzen-alkol ve soda-sodyum hidroksit karışımları ile muamele edilmiş, kömürün içerdiği bitümler uzaklaştırılmış ve ortaya çıkan bitümsüz kömürler yeniden briketlenmiştir. Sonuçta; elde edilen briketlerin öncekilerden çok daha sağlam olduğu görülmüştür.

2.3.5 Adhezyon Teorisi

Kömür tanelerinin basınç etkisinde birbirine bağlanmasının nedeninin adhezyon kuvvetleri olduğu Kegel tarafından belirtilmiştir. Kegel' e göre kömürlerin optimum nem içeriğinde briketlenmesi durumunda, kömür taneciklerini birbirine bağlayan adhezyon kuvvetleri en yüksek değerinde olmaktadır [11].

Katkı maddesiz briketlemede ise van-der Waals kuvvetlerinin dışında etkili olabilecek kuvvetler şunlardır [14];

- Sıvı köprüsünün oluşturduğu tutunma kuvvetleri,
- Hidrojen köprü bağları,
- İnce uzun tanelerin (lifimsi taneler) meydana getirdiği tutunma kuvvetleri.

2.4 Kömürün Briketlenmesine Etki 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].

2.4.1 Kömürün Petrografik Özellikleri

Kömür petrografisinin ve kömürün yapısının, briketleme şartlarının anlaşılmasında önemli bir rol oynadığı kabul edilmiştir. Örneğin; kömür içinde bulunan ve dayanıksız olan bazı maseral grupları, basınç altında kolaylıkla dağılarak, kömürün son derece ince parçacıklar haline gelmesine neden olmaktadır. Petrografik

özelliklerle briketleme arasında, kömürün mikropetrografik kompozisyonundan kaynaklanan bir ilişki vardır [1].

2.4.2 Yapısal Özellikler

Kömürün özellikleri, hem uygulanacak briketleme yönteminin seçimine, hem de üretilen briketlerin sağlamlığına etki eden önemli faktörlerdir. 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 briketlerin sağlamlığı açısından çok önemlidir. Farklı plastik ve elastik özelliğe sahip maseral grupları ve farklı özellikte kömür grupları içeren bir kömürden elde edilecek briket, briketlemede uygulanan basınç kalkınca kömür gruplarının farklı genişmesi sonucu çatlayabilmekte ve hatta tekrar küçük parçalara ayrılabilir. Yumuşak linyitlerin briketlenme özellikleri çok daha iyidir. Ancak, yumuşak linyitlerin kül içeriği yüksek ve kil içeriği daha fazla olmasından dolayı briketleme etkinliği azalmaktadır. Antrasit ve taş kömürü, linyite göre çok daha zor briketlenebilmekte ve kullanılan briketleme sisteminde, bilhassa kırma esnasında, önemli ölçüde aşınmalara neden olmaktadır. Kömürün uçucu madde içeriği % 28'i geçince briketlerin dayanıklılığı azalmaktadır. Genellikle, üretilen briketlerin yoğunluğu yükseldikçe sağlamlığı da artmaktadır. Kullanılan kömürün cinsine bağlı olarak, briketin yoğunluğu 0.9-1.3 gr/cm³ arasında değişmektedir [1].

Özellikle katkı maddesiz briketlemede briketin sağlamlığına etki eden en önemli faktörden biri kömürün yapısal özellikleridir. Bir kömürün katkı maddesiz briketlenebilmesi için [15];

- Yumuşak linyit özelliğinde olması,
- Plastik özellik göstermesi,
- Sıkıştırma sırasında sertlik kazanması,
- Sıkıştırma sırasında fazla iç sürtünme göstermemesi,

- Mümkin olduğu kadar homojen bir yapı ve bileşime sahip olması gerekmektedir.

2.4.3 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 derecesi ile arttığı için, briketleme 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 harcıdığından, üretilen briket kolayca dağılabilmektedir. Kömürün nem içeriğinin çok düşük olması halinde ise, briketleme sırasında sıcaklığın yükselmesi sonucunda, az miktardaki suyun hemen buhar haline geçmesi, hem katkı maddesinin bozulmasına hem de briketin parçalanmasına neden olmaktadır. Böylece, her iki durumda da, sağlam olmayan briketler üretilmektedir. Katkı maddeli briketleme yönteminde, eğer sıvı katkı maddesi kullanılacaksa, katkı maddesinden kaynaklanan su miktarını da göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Kegel' e göre [11], kömürlerin optimum nem içeriğinde briketlenmesi halinde, kömür taneciklerini birbirine bağlayan adhezyon kuvvetleri en yüksek değere ulaşmaktadır.

Briketlemede göz önüne alınan nem içeriği, kömür kuruduktan sonra prese girerken içerdiği nemdir. Uygun miktardaki nemin, kömür tanecikleri arasında sıvı köprüsü ve hidrojen bağı kurarak bir katkı maddesi gibi davrandığı ve taneciklerin birbirlerine bağlanmasını sağladığı briketleme konusunda ileri sürülen teorilerden biridir [15]. Ayrıca;

- Su, kömürü yumuşak tutmaktadır.
- Su, taneler arasındaki kayganlığı artırmakta ve daha iyi sertleşmeyi sağlamaktadır.
- Su, taneler arasında sıvı köprüsü ve hidrojen bağı kurarak, tanelerin birbirlerine bağlanmasını sağlamaktadır.

Briketler hazırlandıktan sonra ortamdaki nem almamalı ve ortama nem kaybetmemelidir. Katkı maddeli briketlemede nem oranının etkisi, katkı maddesizdeki kadar önemli değildir [16].

2.4.4 Kömürün Mineral Madde İçeriği

Linyit kömürlerinin katkı maddesiz briketlenebilmesi için, mineral madde içeriğinin % 8'den fazla olmaması gerekmektedir. Kömürün mineral madde içeriğinin artması, presleme esnasında, sürtünmenin etkisiyle sıcaklığın gerekenden fazla yükselmesine; dolayısıyla, bitümlerin aşırı ısınmasına neden olmaktadır. Bitümün kimyasal yapısı yüksek sıcaklıklarda bozulduğundan bitümler, parçalanarak briketin dayanıklılığını azaltmaktadır [1].

2.4.5 Tanecik Boyutu

Genel olarak, kömürün tane boyutu küçüldükçe, moleküller arası enerji şiddeti arttığından, briketlerin mukavemetleri artmaktadır. Ancak, tane boyutunun küçülmesi işletme masraflarını artırmaktadır.

Katkı maddeli briketlemede, kullanılan kömürün tanecik boyutu dağılımı briketin sağlamlığı ile gereken katkı maddesi miktarını etkilemektedir. Genellikle, aynı miktarda katkı maddesi için, tane boyutu büyüdükçe briket sağlamlığı azalmaktadır. Çünkü taneler irileştikçe presleme sırasında çatlamakta, hatta kırılmakta ve ortaya yeni çıkan bu yüzeyler arasında bağlayıcı eleman olmadığından, briket içinde zayıf noktalar oluşmaktadır. Katkı maddesi kömür tanelerinin yüzeyine yayıldığı ve tüm yüzeyi kaplaması gerektiği için, tane boyutu ufaldıkça özgül ağırlık artmakta, böylece katkı maddesi oranı da yükselmektedir [1,16].

Bu nedenlerden dolayı, briketlenecek kömürün türüne göre, 3-6 mm, 0-3 mm veya daha ince tane boyutuna öğütülmesi gerekmektedir. 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 çok ince kömür tozlarının bulunması istenmeyen bir durumdur [1, 17].

2.4.6 Presleme Basıncı ve Süresi

Presleme basıncı, kullanılan kömürün özellikleri ile uygulanan briketleme yöntemine bağlıdır. Basınç, kömür taneleri arasındaki mesafeyi azaltarak birbirlerine yaklaşmalarını sağlamakta ve tanecik yüzeylerinin temas oranını artırmaktadır. Tanelerin kırılıp yerlerinin değişmesi sonucu boşluklar dolmaktadır. Ancak, tanecikler birbiriyle daha sıkı temas ettirilerek, briket dayanıklılığının artması açısından, presleme basıncı optimum değerde seçilmelidir. Briketleme basıncı yükseldikçe, elastik deformasyon sonucu, briketlerin dayanıklılığı artmaktadır. Ancak basınç belli bir değerin üzerine çıktığında ise plastik deformasyonun geri dönüşlü olması nedeniyle, briketler birden genişip, çatlaklar oluşturmaktadır. Bu durum da briket sağlamlığını azaltmaktadır. Genel olarak briketlemede kullanılan basınçlar 900-1800 kg/cm² arasında değişmektedir. Uygulanan basıncın, ani etki ile bitümleri yumuşatacak bir sıcaklığı sağlaması gerekmektedir.

Katkı maddesiz briketlemede ise plastik deformasyon önemlidir. Yumuşak linyitlerin, düşük briketleme basınçlarında (1000-1500 kg/cm²) preslenebilmesi, onların, düşük basınçta plastik deformasyona uğrayabilmelerine bağlıdır. Plastik deformasyon, sert linyitler ile taş kömürlerinde, yüksek basınçlarda olduğundan (4000-5000 kg/cm²), bu kömürlerin düşük basınçlarda briketlenmesi mümkün değildir [1].

Briketlemede, presleme basıncı kadar, preste kalma süresi de briketin sağlamlığına etki etmektedir. Briketlerin tekrar geri genişemeyecek şekilde sağlam bir hale gelebilmesi için, preslemede belirli bir süreye ihtiyaç vardır; bu süre 10-20 saniye arasında değişmektedir ve kullanılan presin cinsi ile yakından ilgilidir [1, 15].

2.4.7 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].

2.4.8 Briketin Şekli ve Ağırlığı

Üretilen 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. Köşeli 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 şeklinde, merdaneli presle üretilenler ise genellikle yastık veya yumurta şeklindedir. Kullanılacak briketleme yöntemine göre uygulanacak yük ve kullanılacak pres de briket şeklini etkilemektedir [1, 18].

2.4.9 Katkı Maddesinin Özellikleri

Katkı maddeli briketlemede katkı maddesinin cinsi ve miktarı önemlidir. Katkı maddesi, genellikle kömürlerden daha pahalı olduğundan optimum oranının saptanması gerekmektedir. Bu da briketlerden beklediğimiz mukavemet ve yanma özellikleri ile ilgilidir. Katkı maddesinin pH değeri ve yoğunluğu, briketlerin sağlamlılığı hakkında ön bilgi vermektedir. Ayrıca, katkı maddesinin görevini yapabilmesi için iyi bir karıştırma ile ince bir film oluşturarak tüm kömür yüzeyine dağılması gerekmektedir. Bu nedenle, katkı maddesinin özelliklerine göre belirli sıcaklığa kadar ısıtarak yumuşatılması ve bağlayıcının, kömür taneciklerinin tüm yüzeyine dağılacak şekilde çift yönlü ve homojen bir şekilde karıştırılması gerekmektedir [19].

2.4.10 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 [1,16].

2.4.11 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 [20].

Kurutulan kömür, presleme öncesi buharla temas ettiği zaman daha sağlam briketler elde edilmektedir. Kömürün kurutulması esnasında ince ve iri taneler arasında rutubet farkı olmamalıdır. İnce kömür daha hızlı kurutulduğundan, kömür yığını içinde homojenlik bozulabilmektedir [1].

2.4.12 Isıl İşlem

Yapılan birçok araştırmaya göre, kömür ısıtılınca şişme özelliğini kaybetmektedir. Bunun nedeni olarak, kömürün yapısında bulunan ve suda şişmeye yol açan grupların ısı etkisiyle parçalanmaları ve kömür içindeki kilin şişme özelliğini kaybetmesi gösterilmektedir. Katkı maddeli briketleme yönteminde, özellikle bağlayıcı olarak sülfat likörü veya melas kullanıldığında, elde edilen briketlere ısıl işlem uygulanması suya dayanıklılıklarını artırmaktadır [1, 7].

Bitümlü kömürün sıcak yöntem ile briketlenmesi 1927'den beri uygulanmaktadır [20]. 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 ortamdaki uzaklaştığı için elde edilen briketler de hemen hemen dumansız yakıt kalitesinde olmaktadır [1].

2.5 Briketlerde Aranılan Özellikler

Kömür briketlerinin özellikleri, yukarıda anlatıldığı gibi, kömürün ve kullanılan katkı maddesinin özelliklerine, katkı maddesinin oranına ve uygulanan briketleme yöntemine göre değişmektedir.

2.5.1 Briketlerin Mekanik Sağlamlığı

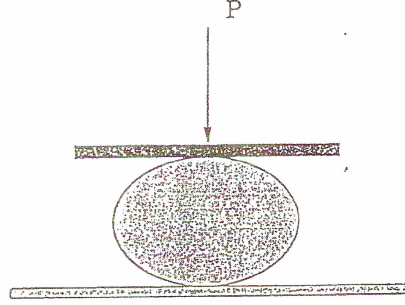
Sağlamlık briketlerde aranması gereken en önemli özelliktir. Briketlerde sağlamlık, yükleme boşaltma ve ufalanmaya karşı gösterecekleri direncin bir ölçüsüdür. Genel olarak etkiyen kuvvetler basınç, çarpma ve sürtünme şeklinde olacaktır. Briketler sağlam değilse, üretim yerlerinden tüketim yerlerine kadar nakliye sırasında yüksek oranda tozlaşacaktır. Izgaralı yakma sistemlerinde ızgara kaybının artmasına ve dolayısıyla verim düşüşüne neden olacaktırlar. Briketlerin sağlamlığını ölçmek için düşme (shatter indeksi), aşınma ve kırılma sağlamlığı testleri yapılmaktadır [2].

2.5.1.1 Briketlerin Düşme Sağlamlığı (Shatter İndeksi)

Bu test briketlerin boşaltma esnasında kırılmaya karşı mukavemetlerini gösteren bir testtir. Hazırlanan briketler 1.8 m yükseklikten çelik bir plaka üstüne bırakılır. Sonuçlar elek üstü tartımlarla veya izlenimlerle ifade edilir. Briketlerin şekli küçüldükçe ve ağırlık azaldıkça, düşme sağlamlığı artmaktadır. A.B.'de düşme sağlamlığı için kesin bir değer kabul edilmemesine rağmen, düşme sağlamlığı 2000'in üzerinde olan briketler amaca uygun kabul edilmektedir [12].

2.5.1.2 Briketlerin Kırılma Sağlamlığı

Bu test, briketlerin taşınma ve stoklanma esnasında yük altında kaldıklarında kırılmaya karşı gösterecekleri direnci ölçmektedir. Az miktarda numuneyle çalışabileceğinden, laboratuvar çalışmalarında tercih edilen bir testtir. Kırılma sağlamlığı, briketin paralel iki levha arasında sıkıştırılarak kırılması suretiyle ölçülmektedir. Yumurta vb. yuvarlak yüzeyle briketlerde kırılma sağlamlığı, nokta sağlamlığı olarak verilmektedir. Bu yöntemde, briket paralel levhalar arasında sadece iki noktadan sıkıştırılarak kırılmaktadır. Şekil 2.2'de yumurta şeklinde bir briketin kırılma sağlamlığının tespiti için uygulanan teknik verilmiştir [3].



Şekil 2.2: Yumurta Şeklinde Bir Briketin Kırılma Sağlamlığının Tespiti [21]

2.5.1.3 Briketlerin Aşınma Sağlamlığı (Tambur Testi)

Briketlerin üretim yerlerinden tüketim aşamasına kadar çeşitli işlemler sırasında ufak boyutlara parçalanmasının ölçüsü, tambur testi ile saptanmaktadır.

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 [12].

2.5.2 Briketlerin Hava Şartlarına Dayanıklılığı

Sıcaklığın, basıncın ve nemin değişmesi kömür briketlerini etkilemektedir. Bu etkilerle briketin dağılması ve parçalanması gözlenir.

Briketler torbalar içinde piyasaya sürülmemişse, üretimden yakılmasına kadar değişik zamanlarda nem, yağmur ve kar gibi sulu ortamlarda dağılmamalı, kuruyup tekrar nem aldıklarında ise sağlamlıklarını korumalıdır. Briketlerin su içinde 24-48 saat, bazen ise bir hafta bozulmadan kalması arzu edilir; su içindeki kömürün zamanla dağılması söz konusudur [22].

Sulu ortamlarda briketlerin bünyelerine hangi miktarda su absorbe edebildiklerini saptamak için, su emme oranı tartımlarla ifade edilir. Briketlerin fazla su emmesi, yanma özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Suda mukavemeti sağlamak için genellikle katkı maddeleri kullanılır [7].

2.5.3 Briketlerin Yanma Özellikleri

Briketlemenin amacı, sağlam ve iyi yanabilen bir yakıt elde etmektir. Yanma; yakıtın kimyasal özellikleri, gözenekliliği, tutuşma sıcaklığı, kül ergime sıcaklığı ile yakma sistemi ve tekniği gibi faktörlerden etkilenmektedir. Yanma olayında etkin olan birincil faktör, yakıtın ısı değeri. Isıl değer, kömürün ve katkı maddesinin kimyasal yapısı ile ilgilidir. Kömürleşme derecesi arttıkça, yakıt içindeki karbon oranı artar ve oksijen oranı azalır. Tutuşma sıcaklığı, briketlerin yakıt olarak değerlendirilmesinde önemli bir gösterge olarak kabul edilir. Bir kez tutuşan yakıt, yanmasını sürdürebilmelidir. Bunun için yakıtın hem ısı iletkenliği, hem de yanma sıcaklığı uygun olmalıdır. Briketlerin kül ergime sıcaklığının, yanma ortamı sıcaklığının üzerinde olması gereklidir. Aksi takdirde eriyen kül, ızgara aralıklarını tıkayarak hava geçişini ve dolayısıyla yanma verimini düşürür [23].

Ülkemizde kömürün ilk tutuşturulması odunla sağlanmaktadır. İlk tutuşma sıcaklığı, linyitten antrasite doğru yükselir ve yanma zorlaşır. İlk tutuşmada kömürün uçucu madde miktarı önemlidir. Briketler kekleşen kömür içerdikleri takdirde, yanma esnasında kısmen oluşan kekleşme, hava geçirgenliğini azaltarak, yanma verimini düşürür. Depoda uzun süre beklemiş olan kömür tozlarının oksidasyonu nedeniyle ısı değeri azalır. Bu tozların briketlenmesi durumunda, yanma sırasında sorunlar çıkabilir [23].

2.6 Türk Linyitleri Kullanılarak Yapılan Bazı Briketleme Çalışmaları

M.T.A. Enstitüsü yakıt teknolojisi servisinde yıllardır sürdürülen briketleme çalışmalarının ve ülkemizde gerçekleştirilmiş olan diğer çalışmaların genel sonuçlarına göre;

- Muğla civarındaki kömürlerden klasik yöntemle göre yapılan briketlerden olumlu sonuç alınamamıştır. Ayrıca, sıcakta (350-400°C) hazırlanan briketlerde sağlamlık çok düşük bulunmuştur. Diğer yandan, 400°C sıcaklıkta ve % 10 zift katkı maddesi kullanılarak suya ancak bir saat mukavemet gösteren briketler elde edilebilmiştir [24].
- Erzurum-Hınıs linyitleri iyi briketlenen sınıfa dahil edilmiştir [12].

- Çankırı-Ortaç, Ankara-Beypazarı ve Sivas-Kangal linyitlerinden, katkı maddesiz sağlam briketler elde edilememiştir. Buna karşılık, linyitlerin mekanik sağlamlıkları iyi durumdadır [24].
- Saray-Vize ile Bursa-Orhaneli yörelerinde bulunan odunsu ve sert yapıya sahip linyitlerin briketlemeye uygun olmadığı anlaşılmıştır [24].
- Sert linyit sınıfından olan Soma linyitleri, % 8-10 zift katılarak briketlenebilmektedir [25].
- Adıyaman-Gölbaşı linyitleri çok sert olduğundan, kırma ve öğütme işlemlerinin maliyet artıracığı düşünülmüştür. Bu linyitlerin briketlenebilmesi için en uygun katkı maddesi olarak melas seçilmiştir [24].
- Amasya-Eski Çeltek kömürüyle, katkı maddesi olarak % 10 melas veya % 5 çeltek sapı kullanılarak, yeterli sağlamlıkta briketler üretilebileceği saptanmış; fakat, bu kömürler fazla miktarda kükürt içermeleri nedeni ile hava kirliliği açısından sakıncalı bulunmuştur [12].
- Ankara-Beypazarı linyitlerinden, basınca ve hava koşullarına dayanıklı, katkı maddesiz ve sıcakta briketlerin elde edilebileceği anlaşılmıştır. Ancak, fazla kükürt içermeleri nedeniyle, hava kirliliği açısından sakıncalıdır [24].
- 1975 yılında Afşin-Elbistan linyitlerinden suya dayanıklı briketler elde etmek amacıyla, su oranının azaltılması, tane boyutunun küçültülmesi, asit ile tepkime, asfalt ile zift kullanılması ve briket yüzeyinin higroskopik maddelerle kaplanması denenmiş, fakat hiçbiri başarılı sonuç vermemiştir [7].
- 1973 yılında M.T.A. Enstitüsü'nde Seyitömer linyitlerini sıcak olarak, katkı maddesiz briketlemek için bir pilot tesis kuruldu. Dumansız yakıt elde etmek için karbonizasyon uygulandı; ama kullanılan linyitler yüksek oranda kil ve su içerdiklerinden çeşitli zorluklar ortaya çıktı [20].
- 1964 yılında, Aachen Teknik Üniversitesi'nde Tunçbilek ve Seyitömer linyitleri bitirme ödevi olarak incelendi. 1 mm altındaki linyit taneciklerinin katkı maddesiz, 2000-3000 kg/cm² basınç altında sağlam briketler oluşturacağı saptanmış; fakat suya mukavemeti düşük bulunmuştur [24].
- Tübitak projesi olarak Sivas-Kangal linyitlerinin briketleme çalışmaları 1984 yılında tamamlandı. Bu yörede linyitlerin yüksek oranda su içermekte olduğu ve

kül oranının yüksek olduğu gözlemlendi. Bu kömürün ev yakıtı olarak kullanılmasında, briketleme tek çözüm olarak görüldü. Katkı maddesiz yüksek basınçta yapılan briketlerin mukavemetleri iyi; ancak, suya dayanıklılıkları az bulunmuştur. Katkı maddesi olarak sülfid likörü kullanıldığında, briketlerin mukavemetleri artarken, suya dayanıklılıkları 10-15 dakikaya çıkmıştır. Bunun dışında katkı maddesiz hazırlanan briketlerin suya dayanmadığı görülmüştür [26].

- M.T.A.'da 1986 yılında yapılan araştırmalarda Türk linyitlerinden briket yapımı üzerinde durulmuştur. Linyitlerin petrografik yapıları ile briketlenebilme ve koklaşabilme özellikleri arasında bir ilişki saptanmıştır. Büyük rezervli ve çabuk tozlaşabilen Afşin-Elbistan, Sivas-Kangal, Bingöl-Karlıova ve Adıyaman-Gölbaşı linyitlerinden katkı maddesiz, yeterli sağlamlıkta ve yeterli ısı değere sahip briketler elde edilmiştir. Yüksek küllü linyit tozlarından hazırlanan briketlerde ise, yakılma sırasında sorunlar çıkmıştır. Bunun dışında, katkı maddesiz hazırlanan linyitlerin tamamının suya dayanmadığı gözlenmiştir [27].
- 1987 yılında İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesinde, Konya-Ermenek kömürlerinin briketlenme koşulları yüksek lisans tezi olarak incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda, katkı maddesiz sıcak ve soğuk briketleme ile yeterli sağlamlıkta briketlerin elde edilemeyeceği tespit edilmiştir. Katkı ilavesi olarak melasın olumsuz sonuç verdiği, sülfid likörü (% 6), zift (% 7) ve ataktikpolipropilenin (% 35) katıldığı karışımların iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir [28].
- Ege Üniversitesi'nde Soma linyitlerini sülfid likörü ile briketleme çalışmaları yapılmıştır. Optimum koşullar olarak; 180°C, 1000 kg/cm² briketleme basıncı, katkı maddesi olarak da % 10 sülfid likörü tespit edilmiştir. Briketler, suya dayanabilmeleri için 230°C'de ısı işleme tabi tutulmuş; böylece, Avrupa Birliği standartlarına uygun briketler elde edilmiştir [25].
- TKİ tarafından 1972'de Doğu Almanya'da Elbistan linyitleriyle yapılan çalışmalar sonucunda, bu linyitin katkı maddesiz briketlemeye uygun olduğu saptanmıştır. Bu linyitin bol miktarda içerdiği hümitik asitlerin, briketlerin suda dayanıksız olmalarına neden olduğu savunulmuştur. Kömürün kil içermesinin kırma, eleme ve depolama sistemlerinde tıkanmalar yapabileceği saptanmış;

sonuçta katkı maddesiz olarak suya dayanıksız, ancak sağlamlık ve ısı değer olarak ev yakıtı kalitesinde briket üretilebileceği saptanmıştır [12].

- Afşin-Elbistan linyiti, farklı biyokütle atıkları kullanılarak briketler elde edilmiştir. Bu briketlerin suda 10 dakikadan daha kısa sürede dağıldığı görülmüştür. Kullanılan atıklardan talaş ve kağıt fabrikası atığının, ayçiçeği ve bira fabrikası atığına oranla daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır [29].
- Kütahya-Seyitömer linyiti, farklı biyokütle atıkları ile briketlendiğinde sağlam briketler elde edilmiştir [30].
- İstanbul-Kemerburgaz linyiti, melas ve Şırnak asfaltiti ile farklı oranlarda karıştırılarak briketlenmiştir. Şırnak asfaltiti ile üretilen briketlerin suya dayanıklılığının çok düşük olduğu tespit edilmiştir [31].
- Afşin-Elbistan linyitine Sibiry kömürü ilave edilerek briketler elde edilmiştir. Sibiry kömürü ilave edilmesi ile mekanik özelliklerin olumsuz etkilendiği görülmüştür [32].

Yukarıda anlatılanlarla birlikte, bundan 10 yıl kadar önce briketleme denince ülkemizde genelde inşaat sektörü anımsanıyordu; şimdi ise, briketleme kömürde yeni bir çözüm olarak görünüyor ve çalışmalar hızlandırılıyor. Geçmişte Zonguldak-Üzülmez' de briketleme fabrikası kurulmuş ve üretim yapılmıştır; ama şimdi bu fabrika faaliyetlerini sürdürmemektedir. Ankara ve Erzurum'da iki tesis kurulmuş olmasına karşın, bunlar düşük kapasitededir. Vergi teşvikinden yararlanmak isteyen özel sektör briketlemeye ilgi duymuş ve Vize briket fabrikasını kurmuştur; fakat, linyit cinsi, katkı maddesi ve fiyat konusunda bazı hataların yapılmış olması nedeniyle, tesis çalışamaz durumdadır. Bu büyük tesisin başarısız olması, briketlemeye olan ilgiyi azaltmış ve briketleme çalışmalarının duraksamasına neden olmuştur. Halen Çorum'da Konya ve Muğla'da bu konuda tesisler vardır ve üretim yapılmaktadır [33].

3. BİYOKÜTLE ENERJİSİ

Biyokütle, çevrede doğal olarak oluşan ve tekrarlanan kaynak akışının bir parçası olan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütle için çok çeşitli tanımlamalar yapılmaktadır. En çok tercih edilen tanımlamalar şunlardır [34-40]:

1. Biyokütle, canlı proseslerden üretilen biyolojik maddelerdir.
2. Belirli bir zaman, alan yada hacim ölçüsünde toprak üstü ve altında yaşayan bitkisel ve hayvansal maddelerdir.
3. Ana bileşenleri karbonhidrat olan, bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddelere biyokütle denir.
4. Güneş enerjisinin fotosentez yolu ile bitkilerde depolanması ile ortaya çıkan tüm canlı organizmalar biyokütle olarak kabul edilir.
5. Güneş enerjisinin dolaylı şekline biyokütle denir.
6. Yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen biyolojik kütle ve buna bağlı organik madde kaynaklarına ve biyolojik kökenli fosil olmayan organik maddelere biyokütle denir.

Bitkilerin fotosentezi sırasında kimyasal olarak, özellikle selüloz şeklinde depo edilen ve daha sonra çeşitli şekillerde kullanılabilen enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin biyokütle biçimindeki depolanmış enerjiye dönüşümü, insan yaşamı için esastır. 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 absorblanmakta ve çevre, CO₂ salınımı açısından da korunmaktadır. Sonuç olarak, bitkiler yalnız besin kaynağı değil, aynı zamanda çevre dostu olan tükenmez enerji kaynaklarıdır [41].

Biyokütle, yenilenebilir ve çevre açısından tehlikeli olmayan bir enerji kaynağıdır. Biyokütle yakıldığında karbondioksit açığa çıkmasına rağmen, fotosentez sırasında

karbondioksitin yeşil bitkilerce kullanılması, çevreyi sera etkisinden korumaktadır. Başka bir deyişle, biyokütle doğal karbon çevriminin bir parçasıdır.

Biyokütle yakıtları, ihmal edilebilecek derecede az kükürt içerir ve yakıldıkları zaman asit yağmurlarına neden olan kükürt oksitleri üretmezler. Biyokütlenin yakılmasıyla, kömürün yakılması sonucu elde edilen külden daha az miktarda kül elde edilir ve bu kül tarımsal amaçlar için toprakta katkı maddesi olarak kullanılabilir. Ayrıca, kentsel katı atıkların içerdiği biyokütlenin enerji üretimi için değerlendirilmesi belediyelerdeki atık yönetim problemini azaltmaktadır. Biyokütle evrensel bir kaynaktır ve dünyadaki fiyat dalgalanmalarını veya ithal yakıtlarda görülen arz belirsizliklerini göstermemektedir. Bazı ülkelerde biyodizel ve etanol gibi sıvı biyoyakıtların kullanılması, ithal petrol ürünlerindeki ekonomik baskının azalmasına neden olmaktadır [42].

Biyokütleden enerji kaynağı olarak yararlanmada izlenen yollar şunlardır [42]:

- Nişasta, şeker, selüloz ve yağ içeren ekinlerin üretimi,
- Katı atıkların yakılması,
- Isı ve elektrik eldesinde kullanılan biyogazların üretimi,
- Etanol, metanol, biyodizel ve türevlerini içeren biyoyakıt üretimi.

Biyokütle türlerini; başlıca enerji bitkileri, tarımsal atıklar, su bitkileri, algler, şehirsal atıklar, biyokatılar olarak sınıflandırmamız mümkündür. Biyokütle türlerinin enerji kaynağı olarak kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri vardır.

Biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanımının olumlu yönleri [41]

- 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,
- 5-35°C arasında sıcaklık gerektirmesi,
- Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemli olması,

- Çevre kirliliği oluşturmaması,
- Sera etkisi oluşturmaması ve
- Asit yağmurlarına yol açmaması.

Biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanımının olumsuz yönleri [41]:

- Düşük çevrim verimine sahip olması,
- Tarım alanları için rekabet oluşturmaması,
- Düşük yoğunluklu, fazla hacimli olduğundan taşıma, depolama ve yakma sırasında sorunlara neden olması,
- Yanmayı engelleme, yanma sırasında yüksek enerji kaybı ve depolama sırasında çürüme gibi istenmeyen etkilere neden olan yüksek oranda nem içermesi ve
- Genellikle homojen olmaması.

3.1 Türkiye’de Biyokütle Enerjisi

Türkiye 28 milyon hektar ekilebilir topraklar, 8.5 milyon hektar ekonomik olarak sulanabilir alan ile büyük bir biyokütle potansiyeline sahiptir. Yapılan bir ön hesaplama göre, Türkiye’deki yıllık tarımsal ürün atığının miktarı 60 milyon ton civarındadır ve bunun yaklaşık 30-40 milyon ton’u enerji üretiminde kullanılabilir niteliktedir [43,44].

Türkiye’nin yıllık biyokütle potansiyeli 117 milyon ton veya 32 milyon TEP (milyon ton petrol eşdeğeri)’dir. Biyokütleden elektrik üretiminin geleceği, biyokütleyle bağlı gazlaştırma/gaz türbin teknolojilerine bağlıdır; bunlar yüksek enerji dönüşümü sağlamaktadır [43, 44].

Türkiye, 32 milyon TEP/yıl biyokütle enerjisi, 31.000 MW/yıl jeotermal güç, 125.000 GWh/yıl hidrolik ve 50 TWh/yıl rüzgar gücü potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, Türkiye yenilenebilir enerjilere büyük önem vermelidir [43, 45, 46].

Ülkemizde klasik biyokütle kaynaklarından olan odun ile bitki ve hayvan artıkları, uzun yıllardan beri, özellikle ısınma ve pişirme alanlarında kullanılmaktadır. Ancak, bu kullanım ilkel ve ekonomik olmayan biçimde gerçekleşmektedir.

Modern biyokütle kaynakları ise, enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve ağaç endüstrisi atıkları, enerji (bitkileri) tarımı (bir yetiştirme sezonunda ürün alınan enerji

bitkileri), tarım kesimindeki bitkisel ve hayvansal atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanır. Türkiye’deki tarımsal ürünlerin yıllık üretim potansiyellerinin bir kısmı Tablo 3.1’de verilmiştir.

Türkiye’nin biyokütle çeşitleri ve kuru atık potansiyelleri ise Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Bazı Tarım Ürünlerinin Türkiye’deki Yıllık Üretim Potansiyelleri [47]

Ürün Adı	Yıllık Üretim (ton/yıl)
Badem	50.000
Ceviz	136.000
Kayısı	517.000
Erik	200.000
Şeftali	460.000
Zeytin	1.800.000
Fındık	600.000
Kestane	50.000
Patates	5.250.000
Üzüm	3.850.000
Nohut	630.000
Yerfıstığı	80.000
Mısır	2.200.000
Pirinç	400.000
Susam	22.000
Ayçiçeği çekirdeği	570.000
Çay (Kuru)	150.000
Soya fasulyesi	75.000
Pamuk	922.000
Fasulye	460.000

Biyokütle kolay yetiştirilebilir olması, özellikle kırsal bölgelerde sosyoekonomik hayatı olumlu yönde etkilemesi, çevrenin korunmasına katkıda bulunması, elektrik, kimyasal madde ve özellikle taşıtlar için yakıt üretiminde kullanılabilmesi nedeniyle Türkiye için stratejik bir enerji kaynağıdır. Türkiye’nin toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 10’u biyokütleden sağlanmaktadır. Türkiye’de tüketilen enerji kaynaklarının 2006 yılına ait dağılımı Tablo 3.3’de verilmiştir [44].

Tablo 3.2: Türkiye’deki Biyokütle Kuru Atık Potansiyelleri [44]

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

Türkiye’de son zamanlarda organik atık, biyokütle ve biyogazdan enerji eldesine yönelik kamu ve özel sektör yatırımları artmaya başlamıştır. Öncelikle Büyükşehir belediyeleri, çöplerin çözümüne yönelik olarak, atık yakma ve enerji üretim tesisleri kurmaya başlamışlardır.

Tablo 3.3: Türkiye’de Üretilen ve Tüketilen Enerji Kaynaklarının Dağılımı [48]

Toplam Enerji Üretimi		Toplam Enerji Tüketimi	
Kaynak	Bin(TEP)	Kaynak	Bin(TEP)
Taşkömürü	1348	Taşkömürü	14721
Linyit	11545	Linyit	11188
Asfaltit	195	Asfaltit	259
Petrol	2284	Petrol	35551
Doğal Gaz	839	Doğal gaz	28867
Hidrolik+Jeotermal	3886	Hidrolik+Jeotermal	3886
Rüzgar	11	Rüzgar	11
Güneş	403	Güneş	403
Odun Türleri	4023	Odun Türleri	4023
Hayvan ve Bitki Artıkları	1146	Hayvan ve Bitki Artıkları	1146
Biyoyakıt	2	Biyoyakıt	2

3.2 Türkiye’nin Biyokütle Çeşitleri ve Atık Potansiyelleri

3.2.1 Tarımsal Atıklar

Pirinç: Türkiye’de pirinç üretiminden başta pirinç sapı olmak üzere % 38 oranında atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar tarlalarda anız olarak yakılmaktadır [44].

Mısır: 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 [44].

Tütün: 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 [44].

Pamuk: Türkiye’deki yıllık pamuk üretiminin yaklaşık % 27’si atık olarak ortaya çıkmaktadır ve atıklar genellikle ısıtma amaçlı olarak yakılmaktadır [44].

Ayçiçeği: Türkiye’de yıllık 820.000 ton ayçiçeği üretimi olup, yağ üretiminden artakalan küspeler hayvan yemi olarak değerlendirilmekte, bitkinin sap kısımları ise atılmaktadır [44].

Fındık: Türkiye'nin yıllık fındık üretiminin yaklaşık % 50'si atık olarak ortaya çıkmaktadır. Atıklar genellikle katı yakıt olarak kullanılmaktadır [44].

3.2.2 Hayvansal Atıklar

Türkiye hayvansal üretim açısından oldukça zengindir. Toplam hayvan sayısı yaklaşık olarak 67.179.000 kümes hayvanları, 55.589.000 koyun-keçi, 12.602.000 büyükbaş olarak verilmektedir. 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 [44].

3.2.3 Kentsel Atıklar

3.2.3.1 Çöpler

Türkiye'de kentsel atıklara yönelik bir istatistik tutulmamaktadır. Ancak 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 [44].

3.2.3.2 Kanalizasyon Çamuru

Yerleşim bölgelerinden kaynaklanan atık sulardaki 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 [44].

3.2.4 Gıda ve Diğer Endüstri

3.2.4.1 Mezbaha Atıkları

Orta ve büyükbaş hayvanlardan kaynaklanan yıllık toplam kuru atık madde miktarı 310.800 ton'dur [44].

3.2.4.2 Süt İşletmelerindeki Atıklar

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 [44]

3.2.4.3 Meyve ve Sebze İşletmeleri

Konservacilik: Konservacilik işletmelerinde yıllık yaklaşık 2.300 ton kuru atık ortaya çıkmaktadır.

Meyve Suyu: Türkiye'de toplam 4.000 ton meyve suyu üretilmektedir. Bu üretimden 1.100 ton'u kuru olmak üzere, 4.500 ton atık ortaya çıkar. Bu atıklar yaş yem olarak satılır. Meyve çekirdekleri yakılarak değerlendirilmeye çalışılmaktadır.

Salça: 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 [44].

3.2.4.4 Yağ Endüstrisi

Yaklaşık yılda 610.000 ton zeytinin yağ üretim amaçlı işlenmesi sonucunda 56.100 ton kuru atık elde edilir. Ayrıca, yılda 915.000 ton siyah zeytin suyu atılır. Zeytinyağı üretiminden kalan posa yakılmaktadır [44].

3.2.4.5 Şeker Endüstrisi

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 [44].

3.2.4.6 Alkollü İçecekler Endüstrisi

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 3.000 ton'dur. Şaraptan elde edilen posaların bir kısmı yem amaçlı satılırken, üzüm çekirdekleri yakılarak tüketilmeye çalışılmaktadır. Rakıdan elde edilenler ise atılmaktadır [44].

3.2.5 Diğer Endüstriler

Türkiye’de yılda yaklaşık 5.010.000 m³ endüstriyel ağaç işlenmekte olup, bu prosesten yılda 649.000 ton kuru ağaç atığı elde edilir. Bu ağaç atıkları ya yakılmakta ya da satılmaktadır [44].

3.2.6 Orman Atıkları

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 [44].

3.3 Biyokütlenin Yapısı

Bitkilerin ana yapısı yapraklardır. Yaprakların, suyu ve bitkinin gelişmesi için gereken maddeleri taşımak ve gıda maddelerini üretmek gibi temel fonksiyonları vardır. Yaprakların bu temel fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri güneş enerjisine bağlıdır. Bitkilerin taneli kısımlarında güneş enerjisinin % 10’u, ağaçlarda ise ancak %1’i ürünlere dönüştürülür. Yapraklar farklı oranlarda klorofil ve karotenoidler, karbonhidratlar, mineraller ve yağlar içerirler [49].

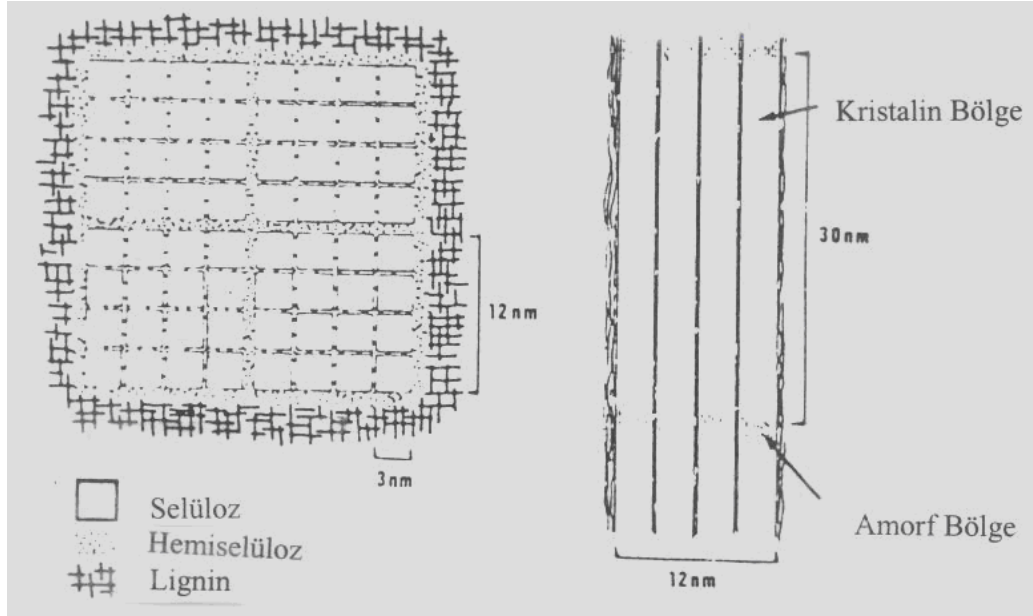
Biyokütlelerin temel bileşenlerini holoselüloz (selüloz+hemiselüloz), lignin ve ekstraktif maddeler oluşturur. Bunların oranları biyokütlenin türüne göre değişmektedir. Sert odunsularla, yumuşak odunsular arasında önemli farklar bulunmaktadır. Sert odunsular; selüloz, hemiselüloz ve ekstraktif maddelerce daha zenginken; yumuşak odunsularda lignin oranı daha yüksektir [49].

Bitkiler mikro elyaflardan oluşmuşlardır. Bitkileri oluşturan her bir mikro elyaf 40 selüloz molekülünden oluşur ve selüloz molekülleri birbirlerine hidrojen bağı ile bağlanırlar. Bitkilerdeki mikro elyaflarda kristal yapılar birbirlerinden amorf yapılar ile ayrılırlar. Şekil 3.1’de mikro elyafların yapısı görülmektedir [49].

Selüloz mikro elyafları yaklaşık olarak 3.5 nm genişliğinde hemiselüloz ve lignin matriksi içinde bulunmaktadır. Ligninin kalınlığı bitkinin türüne göre farklılıklar göstermektedir.

Fengel tarafından mikro elyaf yapısı için önerilen modelde, selüloz elyaflarının, selülozdan daha küçük molekülü olan hemiselüloz tarafından sarıldığı ve bu elyaflardan 64 tanesinin birlikte hemiselüloz ve ligninle sarıldığı şeklindedir [49].

Hemiselüloz, mikro elyafların yüzeyinde lignine kimyasal bağlarla bağlanır ve lignin, selüloz ve hemiselülozun şeker ve alkollere parçalanmasını engeller [49].



Şekil 3.1: Odun Mikroelyafının Yapısal Modeli [49]

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Kömür ve Biyokütle Numunelerinin, Bağlayıcıların Tanıtımı

Bu çalışmada, ülkemizdeki farklı termik santrallerde (Tunçbilek, Afşin-Elbistan, Sivas-Kangal, Yatağan, Soma, Orhaneli, Kemerköy, Çan) kullanılan farklı özelliklere sahip 8 adet linyit kömürü incelenmiş ve Afşin-Elbistan linyit kömürü, diğer 7 linyit numunesinden daha düşük ısı değer ile en yüksek kül oranına sahip ve Türkiye'nin linyit rezervi en yüksek kömürü olmasından dolayı, briketleme çalışmalarında kullanılacak linyit kömürü numunesi olarak seçilmiştir.

Biyokütle numuneleri olarak fındık kabuğu, ayçiçeği kabuğu, pirinç kabuğu ve yağsız pirina kullanılmıştır. Fındık kabuğu Giresun, ayçiçeği kabuğu Tekirdağ, pirinç kabuğu Edirne ve yağsız pirina Çanakkale yöresinden temin edilmiştir.

Fındık kabuğu numunesi, % 6.15 ekstraktif madde, % 51.46 lignin, % 38.64 holoselüloz ve % 22.91 alfa selüloz bileşimine sahiptir [50].

Ayçiçeği kabuğu numunesi, % 12.4 ekstraktif madde, % 22.8 lignin, % 56.13 holoselüloz ve % 25.7 alfa selüloz bileşimine sahiptir [50].

Pirinç kabuğu numunesi, % 8.65 ekstraktif madde, % 39.86 lignin, % 39.87 holoselüloz ve % 22.4 alfa selüloz bileşimine sahiptir [50].

Yağsız pirina numunesi, % 12.48 ekstraktif madde, % 31.71 lignin, % 36.56 holoselüloz ve % 14.9 alfa selüloz bileşimine sahiptir [50].

Briketleme çalışmalarında katkı maddesi olarak linobind (modifiye nişasta), melas ve sülfite likörü kullanılmıştır.

Linobind kömür briket üretiminde kullanılan nişasta bazlı özel bir yapıştırıcıdır. Linobind su ile karıştırılarak % 30' luk bir çözelti hazırlanmıştır. Bu çözelti bir beher içerisinde, 90°C' deki su banyosu içine daldırılmış ve dakikada 300 devir yapan bir karıştırıcı yardımıyla 20 dakika süreyle devamlı karıştırılarak pişirilmiştir.

Melas, şeker pancarından şeker üretiminde bir yan ürün olarak elde edilen şekerli kahverengi bir sıvıdır. Yem sanayinde, maya üretimi, kömür briketlenmesi, beton

ve gübre sanayinde kullanılmaktadır. Kullanılan melas numunesi Kütahya şeker fabrikasında sağlanmıştır.

Sülfite likörü, kağıt üretiminde bir yan ürün olarak elde edilmektedir. Kullanılan sülfite likörü numunesi Zonguldak Çaycuma Oyka kağıt fabrikasından sağlanmıştır.

Yukarı Ceyhan havzasında yer alan Elbistan-Göksun-Afşin Ovalarının kuzey ve kuzeybatısındaki 120 km²'lik bir alana yayılan damarlar, ülkemizin en büyük linyit yatağını oluşturmaktadır.

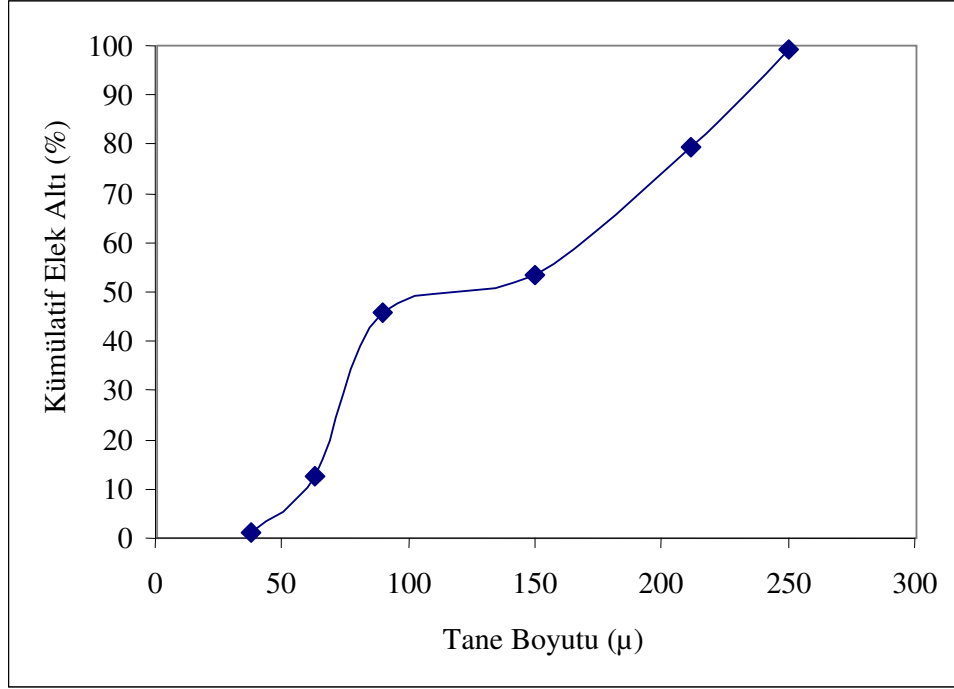
Elbistan linyiti çoğunlukla Palezoik ve Mesozoik masif kalkerlerden meydana gelmiş olan dağlar arasındaki Toros Havzasına bağlıdır. Bölgedeki kömür oluşumu Pliosen yaşlıdır. Şimdiye kadar rastlanan en büyük kömür kalınlıkları, 84 metre ile Çöllolar Havzası'nda Kışlaköy'de saptanmıştır. Kömür, 120 km²'lik bir alana yayılmış olup ortalama damar kalınlığı da 39 metredir. Kömür sahasının büyük bir kısmında kömür damarları açık işletme ile üretim yapılabilecek şekilde yüzeye yakındır. Nem ve kül içeriği oldukça yüksek olan Afşin-Elbistan linyitinin ısı değeri ise çok düşüktür. Afşin-Elbistan linyit sahasının muhtemel linyit rezervi 3.4 milyar ton'dur [12].

4.2 Kömür ve Biyokütle Numunelerine Uygulanan Analizler

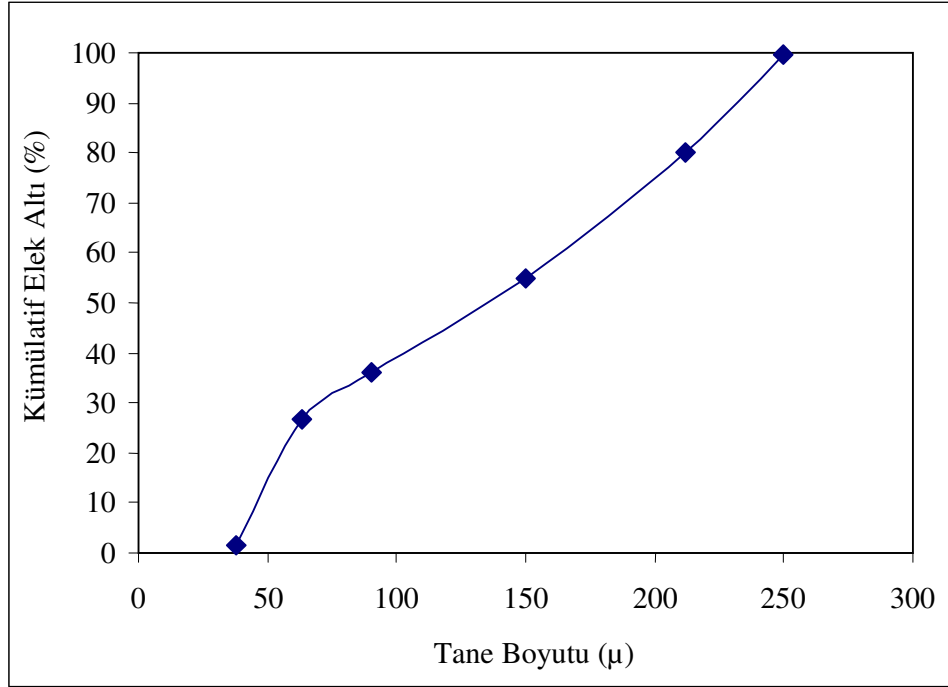
Kömür ve biyokütle numuneleri önce havada sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutulmuş ve tane boyutu 250 mikronun altına geçecek şekilde öğütülmüştür. Tüm numunelere kümülatif elek analizi uygulanmış ve ortalama tanecik boyutu belirlenmiştir.

Linyit numunesinin kümülatif elek analizi sonucu Şekil 4.1'de görülmektedir. Biyokütle numunelerinin kümülatif elek analizi sonuçları ise Şekil 4.2-4.5'te yer almaktadır.

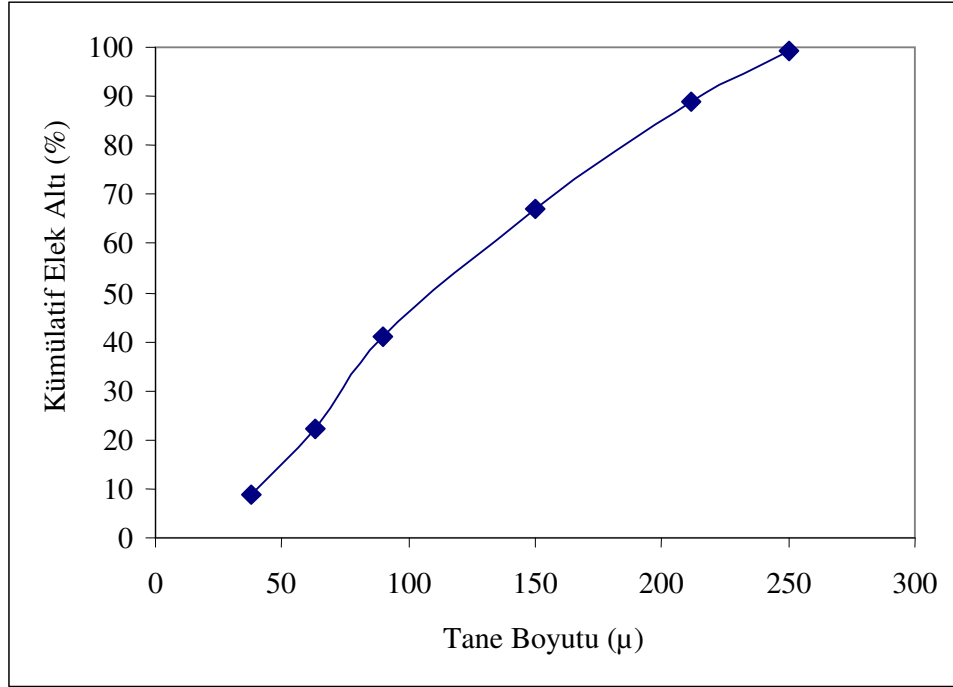
Biyokütle ve kömür numunelerine uygulanan kısa analiz deneylerinde, numuneler 40 ml/dak'lık azot akımında 10°C/dak ısıtma hızıyla 105°C'e ısıtılarak bu sıcaklıkta 10 dakika süreyle bekletilerek nem çıkışı sağlanmış ve 40°C/dak'lık ısıtma hızıyla 950°C'e ısıtılarak bu sıcaklıkta 7 dakika bekletilip uçucu madde çıkışı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, 20°C/dak'lık soğutma hızıyla sıcaklık, kömür numunelerinin kısa analizinde 755°C'e, biyokütle numunelerinin kısa analizinde ise 600°C'e düşürülerek azot akımı kesilmiş ve 40 ml/dak'lık kuru hava beslenmiştir; bu sıcaklıkta ağırlık kaybı sabitleninceye kadar bekletilmiştir.



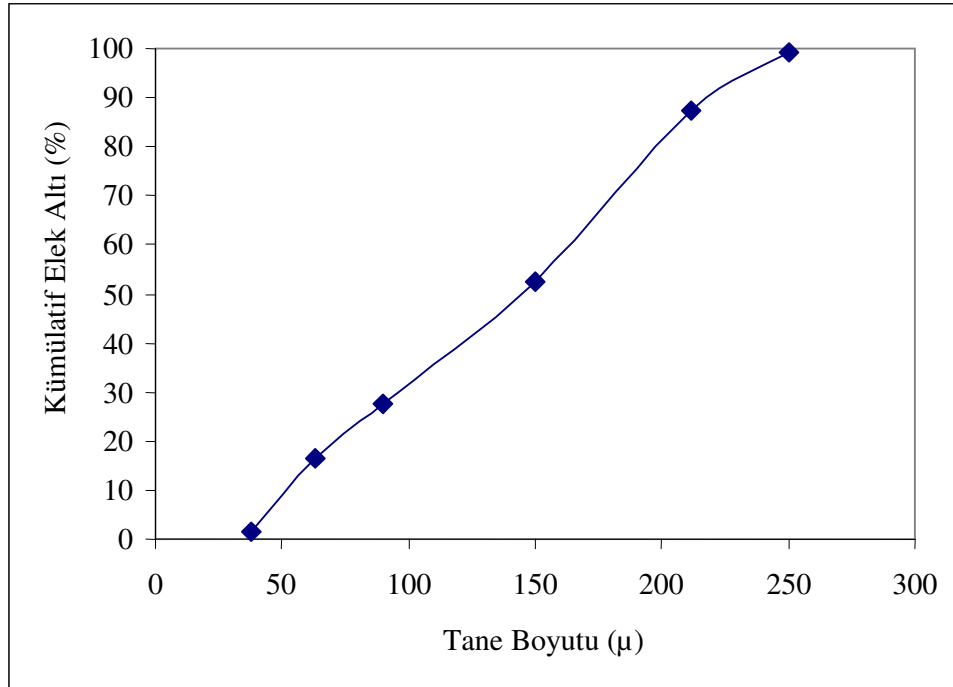
Şekil 4.1: Afşin-Elbistan Linyit Numunesinin Kümülatif Elek Analiz Sonucu



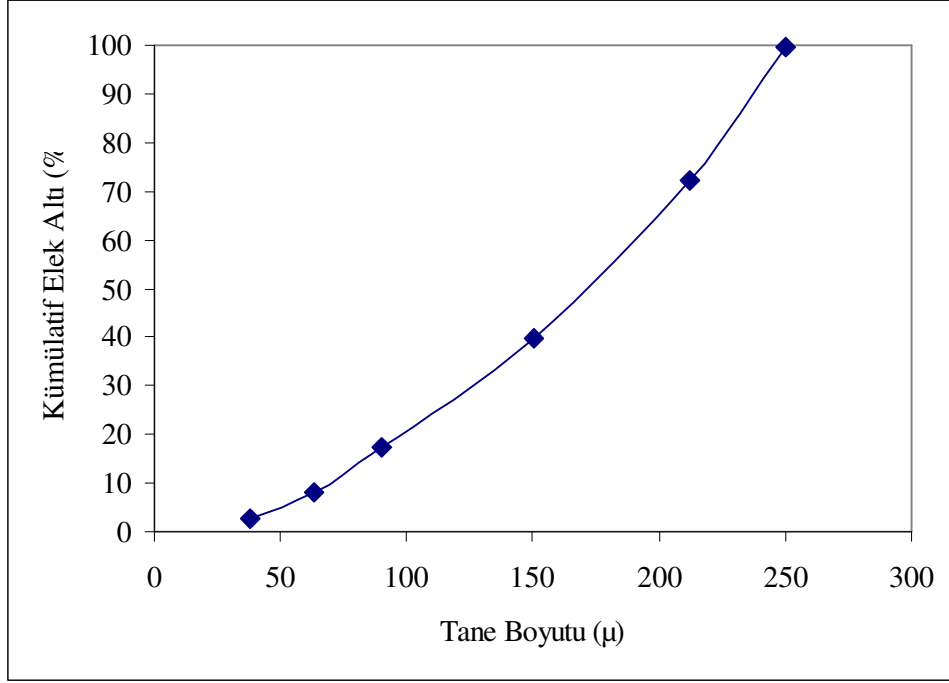
Şekil 4.2: Fındık Kabuğu Numunesinin Kümülatif Elek Analiz Sonucu



Şekil 4.3: Yağsız Pirina Numunesinin Kümülatif Elek Analiz Sonucu



Şekil 4.4: Ayçiçeği Kabuğu Numunesinin Kümülatif Elek Analiz Sonucu



Şekil 4.5: Piriğ Kabuğu Numunesinin Kümülatif Elek Analiz Sonucu

Kömür ve biyokütle numunelerinin kısa analizleri, termogravimetri (TG) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de görölmektedir.

Tablo 4.1: Bazı Termik Santrallerde Kullanılan Kömürlerin Kısa Analiz Sonuçları

Numune	Nem (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Kül (%)
Afşin-Elbistan	10.75	45.50	3.50	40.25
Yatağın	13.75	38.75	16.25	31.25
Çan	10.00	36.25	33.75	20.00
Tunçbilek	7.50	36.25	42.50	13.75
Sivas-Kangal	15.00	46.25	5.00	33.75
Orhaneli	12.50	41.25	13.75	32.50
Yeniköy	14.50	49.25	7.5	28.75
Kemerköy	11.75	50.75	6.25	31.25

Tüm TG Deneşleri için kaydedici kağıt hızı 2.5 mm/dak olarak seçilmiştir ve tane boyutu +250 mikron olan numunelerden 40 mg kullanılmıştır.

TG kullanılarak gerçekleştirilen kısa analizlerde ASTM standartlarındaki sıcaklık sınırlarına bağlı kalınmıştır [51-54].

Tablo 4.2: Biyokütle Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları

Numune	Nem (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Kül (%)
Fındık Kabuğu	10.75	64.25	18.75	6.25
Ayçiçeği Kabuğu	8.25	76.75	12.50	2.50
Yağısız Pirina	8.75	65.00	13.25	13.00
Pirinç Kabuğu	7.50	61.25	9.25	22.00

Isıl değeri analizleri ASTM standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te görölmektedir [55].

Tablo 4.3: Termik Santrallerde Kullanılan Kömürlerin Üst Isıl Değerleri

Açık Havada Kurtulmuş Numune	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
Afşin-Elbistan	1960
Sivas-Kangal	2717
Çan	5025
Tunçbilek	6277
Yatağan	3535
Orhaneli	3633
Kemerköy	3439
Yeniköy	3456

Tablo 4.4: Biyokütle Numunelerinin Üst Isıl Değerleri

Açık Havada Kurtulmuş Numune	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
Pirinç Kabuğu	3306
Yağsız Pirina	4095
Ayçiçeği Kabuğu	4215
Fındık Kabuğu	4331

4.3 Briketleme Deneylerinde Kullanılan Cihazlar

4.3.1 Briketleme Presi

Briketleme deneylerinde, kuvvet uygulama hızı 50 mm/dak olan ve 11325 kg/cm²'ye kadar presleme yapabilen hidrolik bir pres kullanılmıştır. Pres ve briket kalıpları Erikman Kardeşler Makine ve Elektrik Sanayi firmasına özel olarak imal ettirilmiştir (Şekil 4.6).

4.3.2 Briketleme Kalıbı

Briket tabletlerini hazırlamak üzere sertleştirilmiş çelikten yapılmış olan kalıp; baskı mili, silindirik gövde, altlık ve çıkarıcı kovan olmak üzere dört parçadan oluşmaktadır. 50 mm dış, 30 mm iç çapındaki silindirik gövde, altlık üzerine oturtulmaktadır. Altlığın ortasındaki 30 mm çapında, 5 mm yüksekliğindeki silindirik parça, silindir gövdenin iç kısmına geçmiş haldedir. Briketlenmek üzere hazırlanmış olan kömür veya kömür+katkı maddesi karışımı, silindirik gövdeye doldurulup, üzerine baskı mili yerleştirildikten sonra, hidrolik preste farklı kuvvetlerde preslenerek briket numuneleri üretilmiştir. Üretilen briketlerin silindirik gövdeden çıkarılması, çıkarıcı kovan yardımıyla yapılmaktadır. Bu amaçla altlık üzerinden alınan silindir, gövde çıkarıcı kovan üzerine oturtulmakta ve baskı mili preste hafifçe itilerek briket numunesi silindirik kalıptan çıkarılmaktadır. Briketleme presinde kullanılan kalıbın teknik detayları Şekil 4.7'de ve üretilen briket numuneleri Şekil 4.8'te görülmektedir.

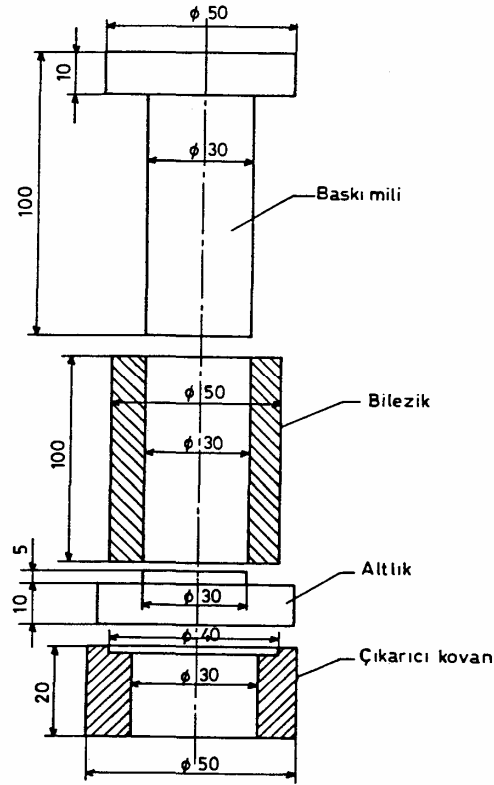


Şekil 4.6: Deneylerde Kullanılan Briketleme Presi

4.4 Briketleme Deneylerinin Çalışma Koşulları

Briketleme basıncının briket numunelerinin özelliklerine etkisini incelemek amacıyla, Afşin-Elbistan linyit numunesi ve biyokütle numuneleri ayrı ayrı 4 farklı kuvvette (20 ton, 40 ton, 60 ton, 80 ton) briketlenmiştir. Üretilen briket numuneleri 1 hafta süreyle dinlendirildikten sonra, dayanıklılık testleri (kırilma sağlamlığı testi,

düşme sağlamlığı testi (Shatter indeksi) uygulanmış, suda dağılma süreleri tespit edilmiş ve optimum presleme basıncı seçilmiştir.



Şekil 4.7: Briketlemede Kullanılan Kalıbın Boyutları

Biyokütle ilavesinin briket numunelerinin dayanımlarına etkisini incelemek amacıyla, 4 biyokütle numunesi farklı oranlarda (% 2, % 5, % 10, % 20) Afşin-Elbistan kömür numunesine ilave edilip homojen bir şekilde karıştırılarak, üretilen briketlere dayanıklılık testleri (düşme sağlamlığı, suya dayanım ve kırılma sağlamlığı) uygulanmış ve sonuçlar incelenerek uygun biyokütle oranı tespit edilmiştir.

Bağlayıcının etkisini incelemek amacıyla, tespit edilen kömür biyokütle karışımlarına melas % 2, % 5, % 10 ve % 15 oranlarında, linobind % 1, % 2, % 3 ve % 4 oranlarında sülfat likörü ise % 6, % 8, % 10 ve % 20 oranlarında ilave edilmiştir. Üretilen briket numunelerine dayanıklılık testleri uygulanarak farklı bağlayıcıların etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.8: Üretilen Kömür ve Biyokütle Briketleri

4.5 Üretilen Briket Numunelerine Uygulanan Testler

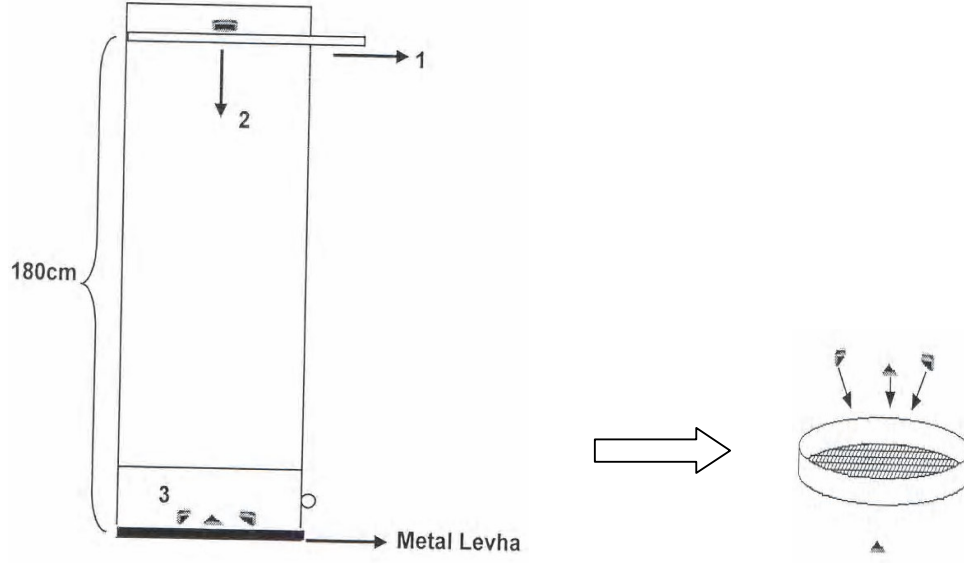
Tüm briket numuneleri 3 cm çapında, 1 cm yüksekliğinde ve yaklaşık olarak 10 g ağırlığında silindir şeklinde üretilmiş ve 1 hafta süre ile dinlendirilip ardından suya dayanım, kırılma ve düşme sağlamlığı testleri uygulanmıştır.

4.5.1 Düşme Sağlamlığı Testinin Uygulanışı

Üretilmiş olan briket numunelerine Şekil 4.9’de görülen düzenek kullanılarak düşme sağlamlığı testleri uygulanmıştır. Briket numuneleri, 1.8 m yükseklikten çelik plaka üzerine bırakılarak, düşen parçalar 2 cm elek açıklığı olan elekten elenip, elek üzerinde kalan kısım tartılmıştır. Elek üzerinde kalan bu parçalar, yeniden aynı yükseklikten çelik plaka üzerine bırakılarak, test tekrarlanmıştır. Bu tekrar işlemleri, tüm briket parçaları elek altına geçinceye kadar tekrarlanmış ve shatter indeksi hesaplanmıştır [56].

4.5.2 Kırılma Sağlamlığı Testinin Uygulanışı

Bir hafta süre ile dinlendirilen briket numunelerine, Mohr-Federhaf AG marka çekme-basma cihazı kullanılarak, kırılma sağlamlığı testi uygulanmıştır. 2 plaka arasına yerleştirilen briketlere basınç uygulanmış ve her bir briketin kırılana kadar gösterdiği sağlamlık tespit edilmiştir [57].



- 1: Düşme Plakası
- 2: Numunenin Plaka Üzerindeki Konumu
- 3: Numunenin Düştüğü Toplama Kabı

Şekil 4.9: Düşme Sağlamlığı Testlerinde Kullanılan Düzenek

4.5.3 Suya Dayanım Testinin Uygulanışı

Üretilen briket numunelerinin suda mukavemetlerini belirlemek amacıyla, briketler su içerisine atılarak suda dağılmalarına kadar geçen süre kronometre ile tespit edilmiştir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

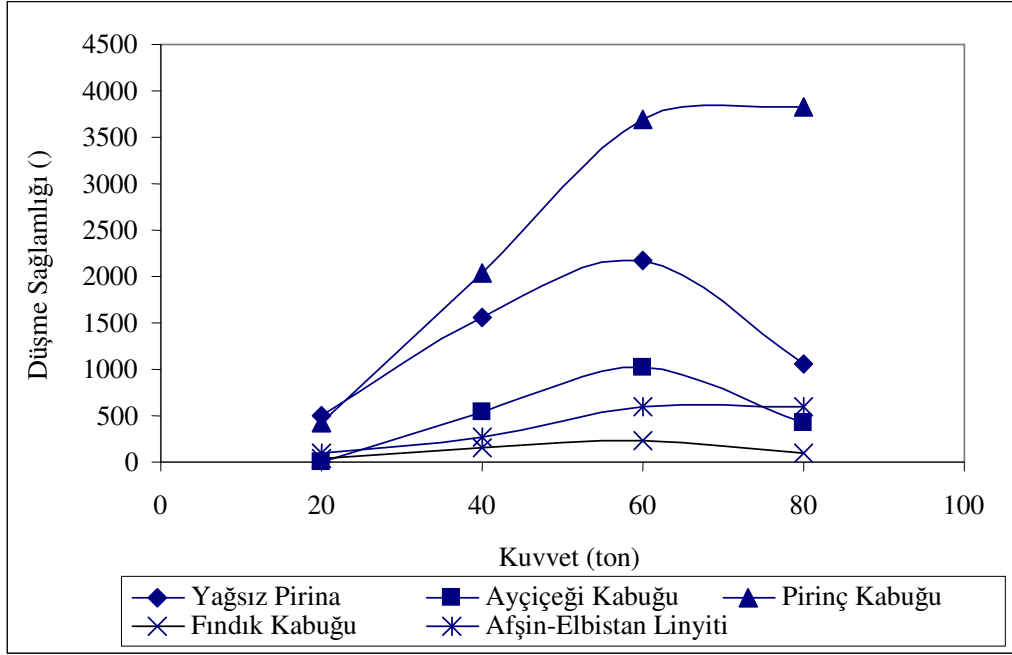
5.1 Uygulanan Basıncın Briket Özelliklerine Etkileri

Briketleme basıncının, üretilen briketlerin özelliklerine etkisini araştırmak amacıyla Afşin-Elbistan linyiti ile her bir biyokütle numunesi ayrı ayrı 4 farklı presleme basıncı uygulanarak briketlenmiştir. Üretilen briketlere düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve suya dayanıklılık testleri uygulanmıştır.

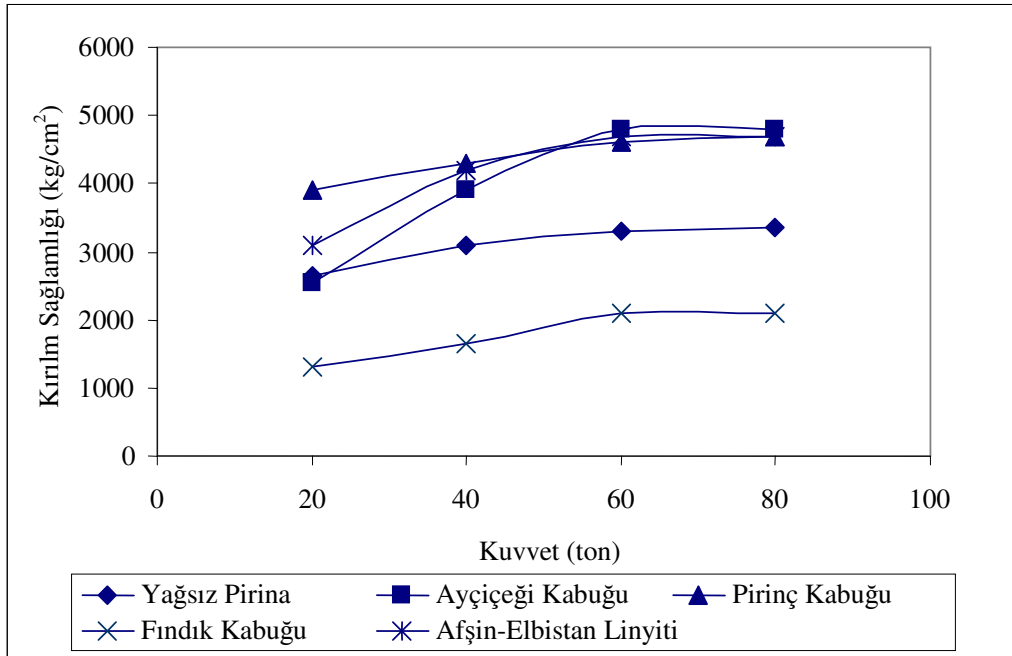
Linyit ve biyokütle numunelerine uygulanan düşme sağlamlığı test sonuçları Şekil 5.1'de görülmektedir. Basıncın üretilen briketin düşme sağlamlığına en belirgin etkisi pirinç kabuğu kullanılan briketlerde görülmektedir. 20 ton'luk kuvvet altında üretilen pirinç kabuğu briketinin düşme sağlamlığı 429 iken, kuvvetin 80 ton'a çıkmasıyla bu değer 3822'ye yükselmiştir. Fındık kabuğu ve Afşin-Elbistan linyiti için basıncın düşme sağlamlığına etkisi çok sınırlı kalmıştır. Ayçiçeği kabuğu ile yağsız pirina numunelerinin düşme sağlamlıkları ise, kuvvetin 60 ton'un üzerine çıkmasından olumsuz etkilenmiştir.

Linyit ve biyokütle numunelerine uygulanan kırılma sağlamlığı test sonuçları Şekil 5.2'de görülmektedir. Uygulanan presleme basıncının linyit ve biyokütle numunelerinin kırılma sağlamlığına etkileri önemli farklılıklar göstermektedir. En düşük kırılma sağlamlığına sahip olan fındık kabuğu briketinin bu özelliği, uygulanan presleme basıncının artırılması sonucunda da önemli bir artış göstermemiştir.

Buna karşılık, Afşin-Elbistan linyiti ile ayçiçeği kabuğu numunelerinden üretilen briketlerin kırılma sağlamlıkları uygulanan basıncın artırılması sonucunda önemli ölçüde iyileşme göstermiştir. 20 ton'luk kuvvet uygulanarak üretilen linyit briketinin 3100 kg/cm^2 olan kırılma sağlamlığı, 80 ton'luk kuvvet uygulandığında 4700 kg/cm^2 'ye çıkmıştır. Ayçiçeği kabuğundan 20 ton'luk kuvvet uygulanarak üretilen briketin kırılma sağlamlığı ise, basıncın 80 ton'a çıkarılması sonucunda 2550 kg/cm^2 'den 4800 kg/cm^2 'ye yükselmiştir.



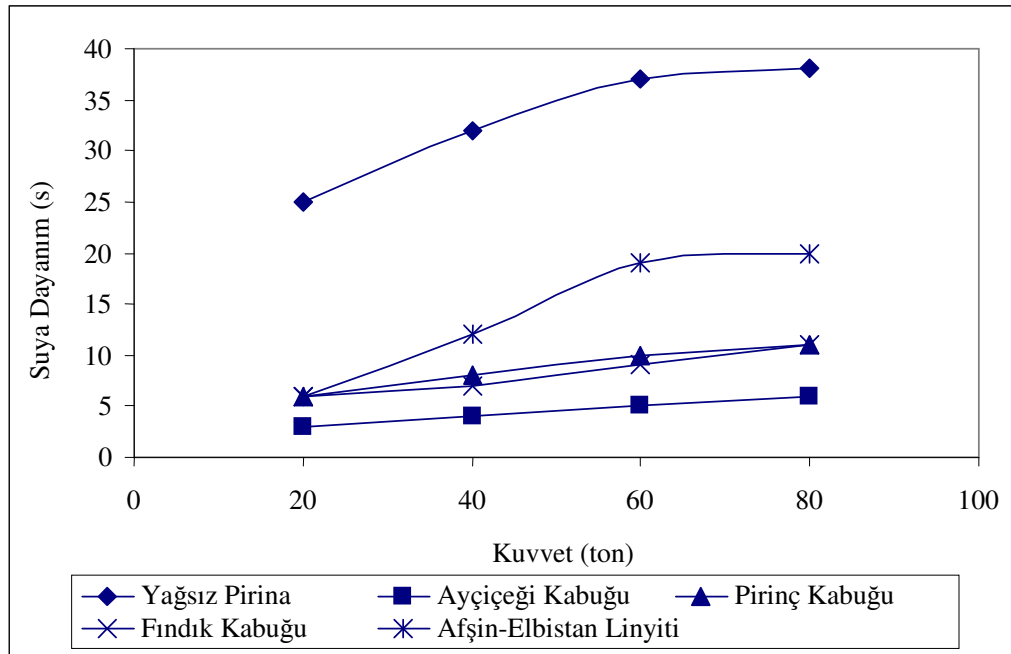
Şekil 5.1: Briketleme Kuvvetinin Üretilen Briket Numunelerinin Düşme Sağlamlığına Etkisi



Şekil 5.2: Briketleme Kuvvetinin Üretilen Briket Numunelerinin Kırılma Sağlamlığına Etkisi

Genel olarak, briketleme basıncının 60 ton'a kadar çıkartılması, üretilen linyit ve biyokütle briketlerinin kırılma sağlıklarını artırmıştır; ancak, basıncın 60 ton'un üzerine çıkarılmasının önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Linyit ve biyokütle numunelerine uygulanan suya dayanıklılık testlerinin sonuçları Şekil 5.3'te görülmektedir. Suya dayanıklılığı en yüksek olan briketler yağsız pirina numunesinden üretilebilmiştir. Uygulanan basıncın üretilen briketin suya dayanımına en belirgin etkisi de linyit ve yağsız pirinadan üretilen briketlerde görülmüştür. Basıncın artırılmasının üretilen briketin suya dayanıklılığına etkisi; ayçiçeği kabuğu briketi, fındık kabuğu briketi ve pirinç kabuğu briketi için çok sınırlı kalmıştır. Ancak, 20 ton'luk kuvvet uygulanarak üretilen yağsız pirina briketinin suya dayanım süresi yaklaşık 25 saniye iken, 80 ton'luk presleme basıncının uygulanması sonucunda bu süre 38 saniyeye çıkmıştır. Uygulanan briketleme basıncının, üretilen briketlerin suya dayanımlarına etkisinin en yüksek oranda gerçekleştiği briket ise Afşin-Elbistan linyitinden üretilendir. Kuvvetin 20 ton'dan 80 ton'a çıkarılması, linyit briketlerinin suya dayanım sürelerini 6 saniyeden 20 saniyeye çıkarmıştır.



Şekil 5.3: Briketleme Kuvvetinin Üretilen Briket Numunelerinin Suya Dayanıklılığına Etkisi

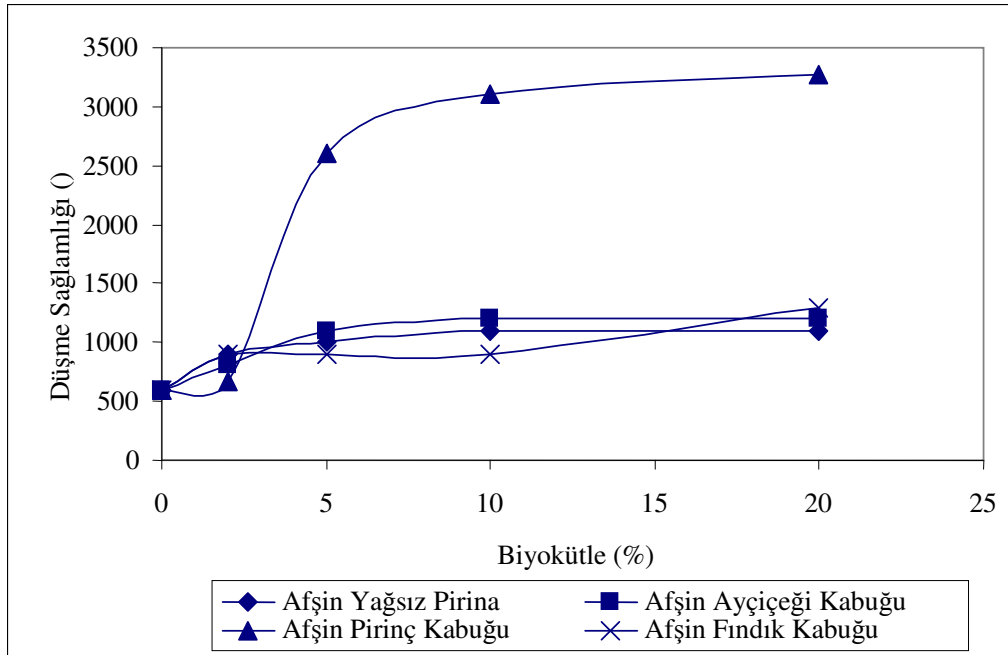
Düşme ve kırılma sağlıkları ile suya dayanım testlerinin sonuçlarının incelenmesi, briketleme basıncının 60 ton'un üzerine çıkartılmasının gerekmediğini göstermiştir.

Bu nedenle, linyit+biyokütle karma briketlerinin üretilmesi ve bağlayıcı etkilerinin incelendiği tüm deneylerde 60 ton'luk briketleme basıncı uygulanmıştır.

5.2 Biyokütle Katkı Oranlarının Briket Özelliklerine Etkileri

Bu çalışma için seçilmiş olan 4 farklı biyokütle numunesi olan pirinç kabuğu ayçiçeği kabuğu, yağsız pirina ve fındık kabuğunun katılmasının, Afşin-Elbistan linyitinden üretilen briketlerin özelliklerine etkilerini araştırmak amacıyla, 4 farklı karışım oranı uygulanmıştır. Biyokütle numunelerinin her biri, % 2, % 5, % 10 ve % 20 oranlarında linyite katılarak oluşturulan karışımlar, 60 ton'luk presleme basıncı uygulanarak briketlenmiştir. Üretilen linyit+biyokütle karma briketlerine düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve suya dayanıklılık testleri uygulanmıştır.

Biyokütle katkı oranlarının üretilen briketlerin düşme sağlamlığına etkileri Şekil 5.4'te görülmektedir.

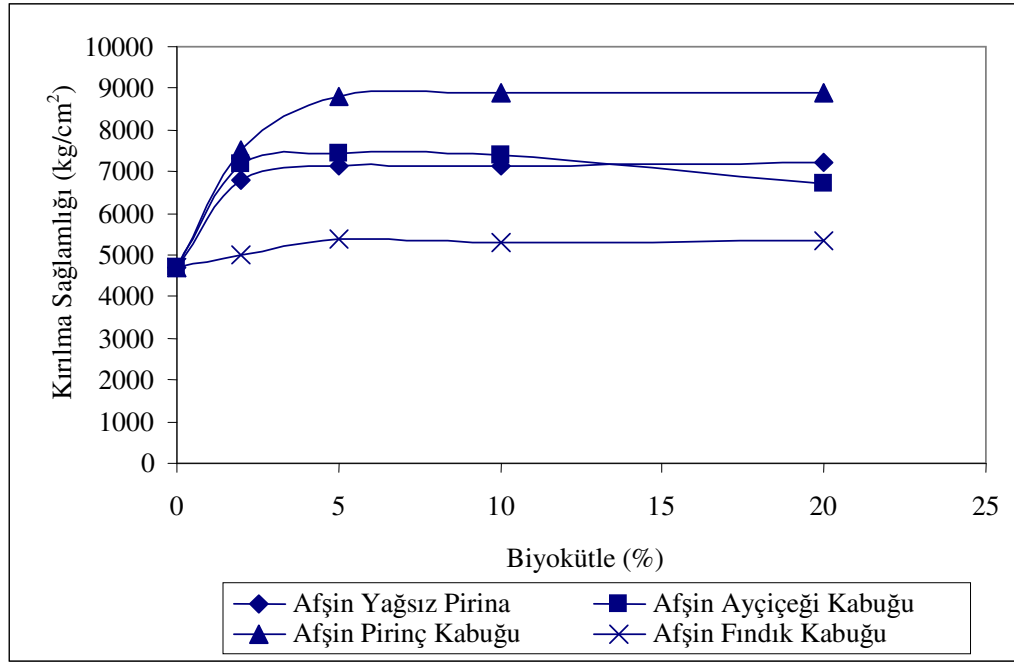


Şekil 5.4: Biyokütle İlavesinin Üretilen Karma Briket Numunelerinin Düşme Sağlamlığına Etkisi

Yağsız pirina, ayçiçeği kabuğu ve fındık kabuğunun Afşin-Elbistan linyitine katılmasının, üretilen karma briketlerinin düşme sağlamlığına önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Buna karşın, pirinç kabuğu katılmasının üretilen briketlerin düşme sağlamlığını büyük ölçüde artırdığı saptanmıştır. Katkısız linyitten üretilen

briketin düşme sağlamlığı, % 2 oranında pirinç kabuğu katılmasıyla üretilen briketinkinden pek farklı değilken, pirinç kabuğu katkı oranının % 5'e çıkarılması düşme sağlamlığının yaklaşık 5 katına çıkmasına neden olmuştur. Pirinç kabuğu katkı oranının % 10 ve % 20'ye çıkarılmasının düşme sağlamlığını sınırlı ölçüde artırmaya devam ettiği görülmektedir.

Biyokütle katkı oranlarının, üretilen briketlerin kırılma sağlamlığına olan etkileri Şekil 5.5'te görülmektedir.

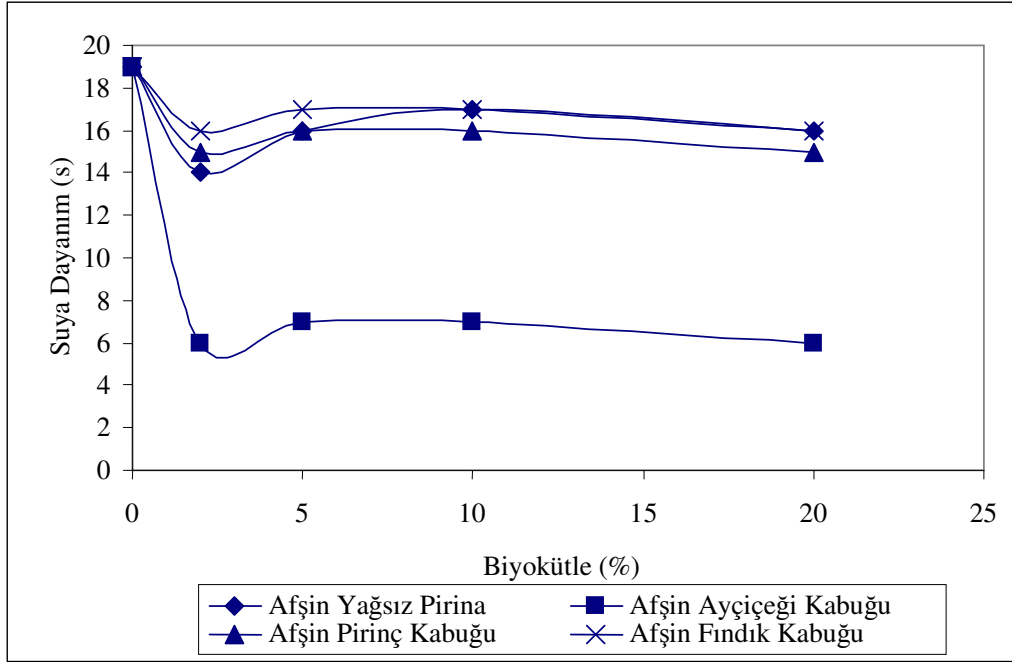


Şekil 5.5: Biyokütle İlavesinin Üretilen Karma Briket Numunelerinin Kırılma Sağlamlığına Etkisi

Fındık kabuğunun linyit numunesine değişen oranlarda katılmasının, üretilen karma briketlerin kırılma sağlamlığına önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Yağsız pirina, ayçiçeği kabuğu ve pirinç kabuğunun % 2 oranında katılması kırılma sağlamlığını hemen hemen aynı ve önemli ölçüde artırmıştır. Afşin-Elbistan linyitinden katkısız olarak üretilen briketin kırılma sağlamlığı 4700 kg/cm² iken, % 2 yağsız pirina katılması bu değeri 6800 kg/cm²'ye, % 2 ayçiçeği kabuğu katılması 7200 kg/cm²'ye, % 2 pirinç kabuğu katılması ise 7534 kg/cm²'ye yükseltmiştir. Yağsız pirina ve ayçiçeği kabuğunun katkı oranının %2'den, %5, %10 ve %20'ye çıkarılması üretilen karma briketlerin kırılma sağlamlığında ilave bir gelişme sağlamazken, pirinç kabuğu katkısının %2'den %5'e çıkarılması, kırılma

sağlamlığının 7534 kg/cm^2 'den 8785 kg/cm^2 'ye çıkmasına neden olmuştur. Pirinç kabuğu katkısının %5'in üzerine çıkarılması ise ilave bir etki sağlamamıştır.

Afşin-Elbistan linyitine değişik oranlarda biyokütle katkısıyla üretilen briketlere uygulanan suya dayanıklılık testlerinin sonuçları Şekil 5.6'da görülmektedir. Genel olarak, biyokütle katkısının briketlerin suya dayanıklılığını düşürdüğü saptanmıştır. Ancak, bu olumsuz etki fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve yağsız pirina için sınırlı kalırken, ayçiçeği kabuğu için büyük olmuştur. Afşin-Elbistan linyitinden katkısız olarak üretilen briketlerin yaklaşık 20 saniye olan suya dayanıklılık süresi, ayçiçeği katkısı kullanılmasıyla 5-7 saniye aralığına gerilemiştir. Biyokütle numunelerinin katkı oranlarının %5'e çıkarılması, suya dayanım sürelerinde biraz artış sağlamıştır; ancak, %5'in üzerine çıkarılması sonuçları hemen hiç etkilememiştir.



Şekil 5.6: Biyokütle İlavesinin Üretilen Karma Briket Numunelerinin Suya Dayanıklılığına Etkisi

Genel olarak, biyokütle katkı oranının %5'in üzerinde olmasının test sonuçlarını etkilemediği görüldüğünden, bağlayıcı kullanımının üretilen karma briketlerin özelliklerine etkileri %5'lik biyokütle katkılarıyla araştırılmıştır.

5.3 Bağlayıcı Kullanımının Linyit-Biyokütle Karma Briketlerinin Özelliklerine Etkileri

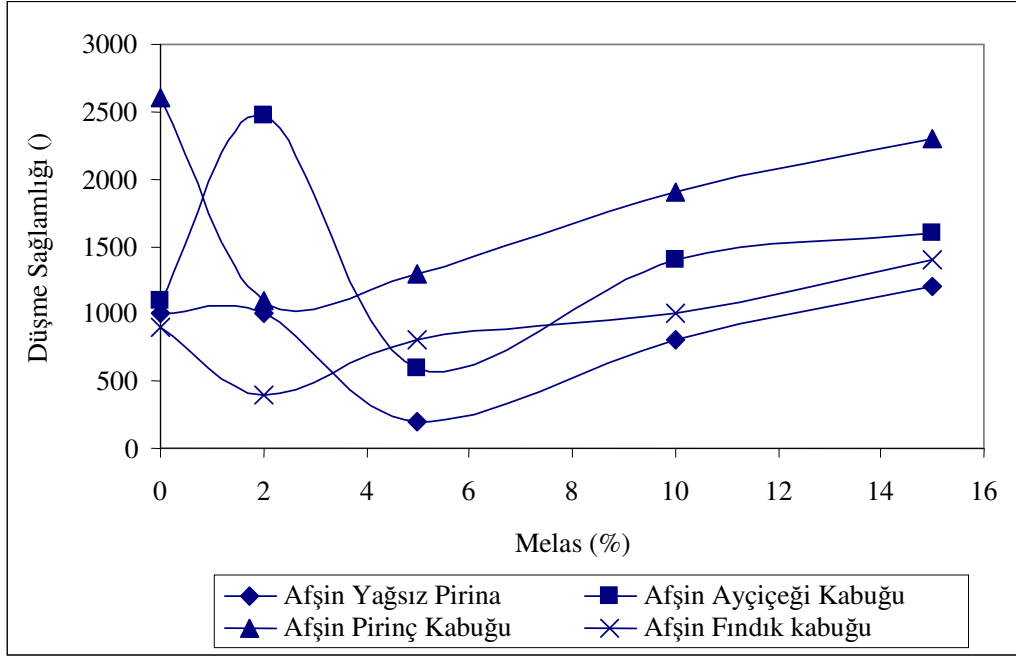
Afşin-Elbistan linyitine değişik oranlarda biyokütle katarak üretilen briketlerin özelliklerini geliştirmek amacıyla, karma briketlere 3 değişik bağlayıcı ilave ederek briketler üretilmiştir. Bu amaçla üretilen briketlere 60 ton'luk kuvvet uygulanmıştır. Melas, linobind ve sülfite likörünün bağlayıcı olarak kullanıldığı karışımlardaki biyokütle oranları da % 5 olarak sabit tutulmuştur. Hazırlanan kömür, biyokütle ve bağlayıcı karışımları homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra briketlenmiştir.

5.3.1 Melasın Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Etkileri

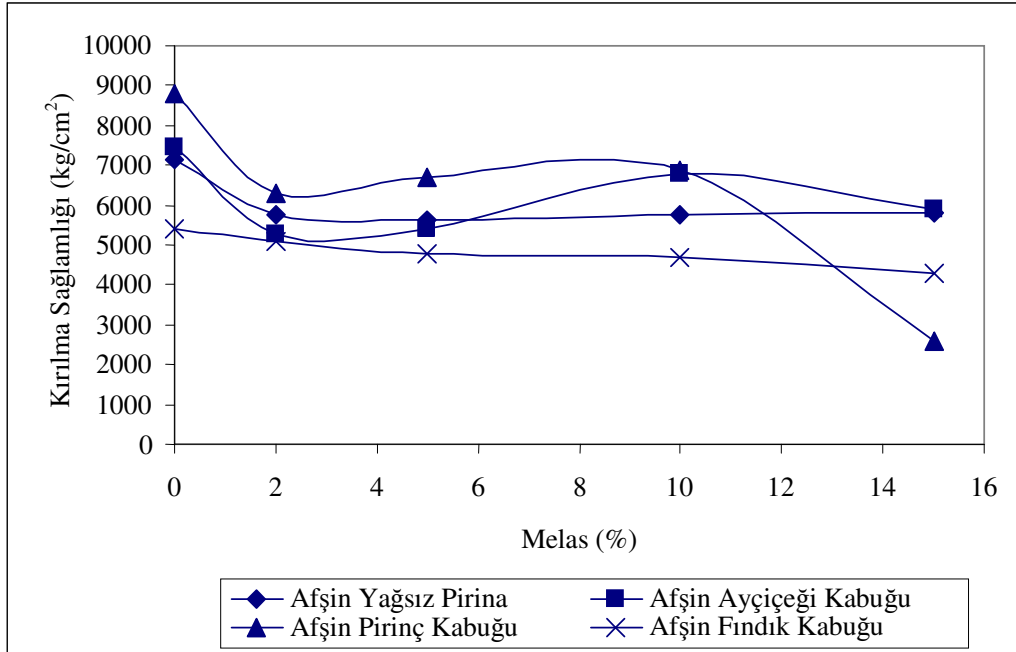
Biyokütle-lyinyit karışımına %2, %5, %10 ve %15'lik oranlarda melas ilave ederek 60 ton'luk kuvvet uygulanması sonucunda üretilen briketlere düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve suya dayanım testleri uygulanmıştır.

Melasın bağlayıcı olarak kullanılmasının üretilen karma briketlerin düşme sağlamlığına etkileri Şekil 5.7'de görülmektedir. Melasın %2 oranında bağlayıcı olarak ilave edilmesi, sadece ayçiçeği kabuğu+lyinyit karma briketinin düşme sağlamlığında büyük artış sağlamıştır. Melasın bağlayıcı olarak kullanılmadığı ayçiçeği kabuğu+lyinyit karma briketinin yaklaşık 1000 olan düşme sağlamlığı, 2500 civarına yükselmiştir. Pirinç kabuğu+lyinyit karışımına katılan melasın oranının %2'nin üzerine çıkarılması üretilen briketlerin düşme sağlamlığını önemli ölçüde artırmakla beraber, sonuç gene de bağlayıcısız karma briketinin düşme sağlamlığının altında kalmıştır. %2 melas bağlayıcılı pirinç kabuğu-lyinyit briketinin düşme sağlamlığı yaklaşık 1000 iken, melas oranının %10'a çıkarılması düşme sağlamlığının yaklaşık 1900'e çıkmasını sağlamıştır. Fındık kabuğu+lyinyit ve yağsız pirina+lyinyit karışımlarına melasın katkı oranının %2'nin üzerine çıkarılması briketlerin düşme sağlamlığında önemli bir farklılık yaratmamıştır.

Melasın bağlayıcı olarak kullanılmasının linyit+biyokütle karışımlarından üretilen briketlerin kırılma sağlamlıklarına etkileri Şekil 5.8'de görülmektedir. Genel olarak, melasın bağlayıcı olarak kullanılması, biyokütle+lyinyit karma briketlerinin kırılma sağlamlıklarında düşüşe neden olmuştur.

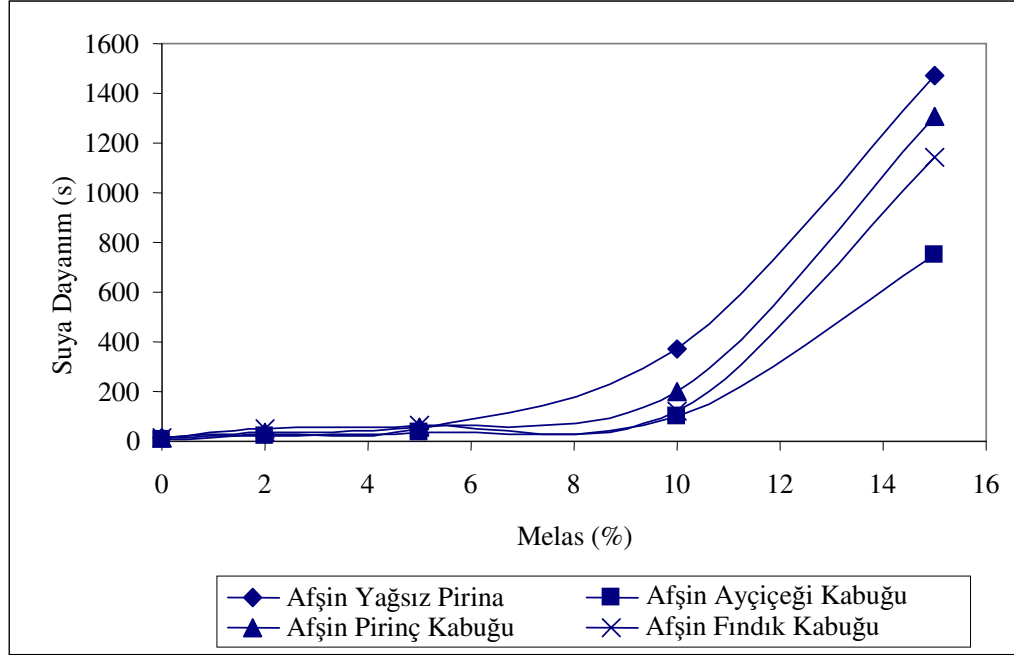


Şekil 5.7: Melasın Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma briketlerinin Düşme Sağlamlığına Etkileri



Şekil 5.8: Melasın Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Kırılma Sağlamlığına Etkisi

Biyokütle+linyit karma briketlerine bağlayıcı olarak melasın katılmasının suya dayanıklılık test sonuçlarına etkileri Şekil 5.9'da yer almaktadır. Görüldüğü gibi, melasın bağlayıcı olarak kullanılması üretilen briketlerin suya dayanımlarını büyük ölçüde artırmıştır. %2, %5, %10 ve %15 oranlarında melas ilavesi yağsız pirina+linyit karma briketinin 16 saniye olan suya dayanım süresini, sırasıyla, 32, 47, 372 ve 1471 saniyelere çıkartmıştır.



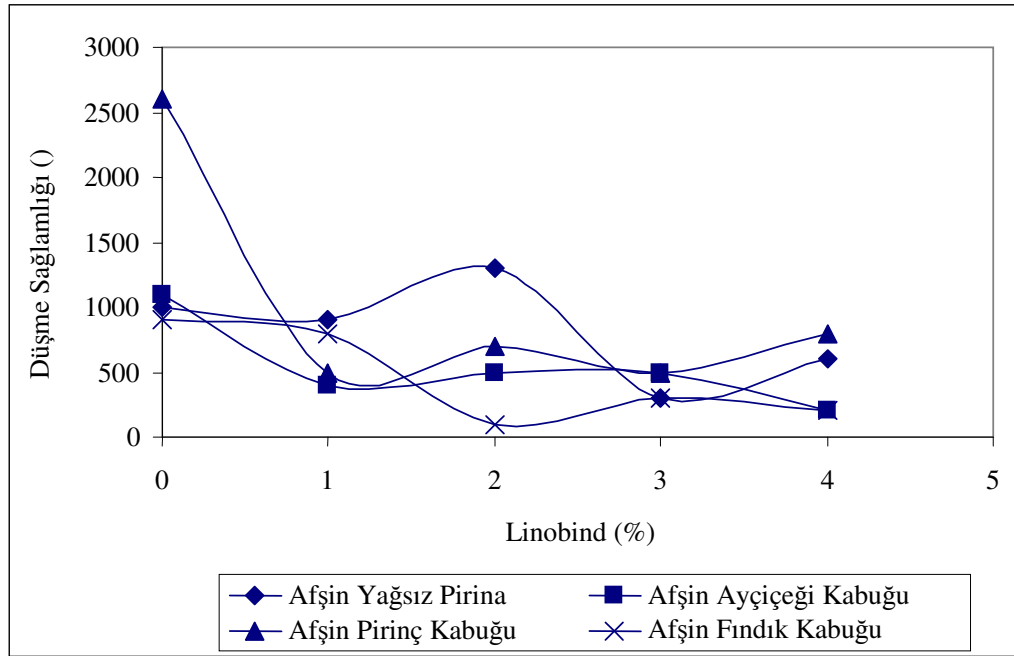
Şekil 5.9: Melasın Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Suya Dayanıklılığına Etkisi

Ayçiçeği kabuğu+linyit karışımına % 2, % 5, % 10 ve % 15 oranlarında melas bağlayıcı ilave etmek, bu karma briketin 7 saniye olan suya dayanım süresini, sırasıyla 19, 35, 98 ve 750 saniyelere çıkartmıştır. Pirinç+linyit karma briketinin suya dayanım süresi olan 16 saniye ise, % 2, % 5, % 10 ve % 15 melas bağlayıcı ile, sırasıyla, 34, 57, 197 ve 1304 saniyelere uzamıştır. Benzer gelişme, fındık kabuğu+linyit karma briketleri için de sağlanmıştır.

5.3.2 Linobindin Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Etkileri

Biyokütle+linyit karışımına linobind ilave ederek 60 ton'luk kuvvet uygulanması sonucunda üretilen briketlere düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve suya dayanım testleri uygulanmıştır.

Linobindin % 1, % 2, % 3 ve % 4 oranlarında bağlayıcı olarak katılmasının, biyokütle+linyit karma briketlerinin düşme sağlamlığına etkileri Şekil 5.10'da görülmektedir. Genel olarak, linobindin bağlayıcı olarak kullanılması, üretilen briketlerin düşme sağlamlığını olumsuz yönde etkilemiştir. Sadece %2 linobind katılmış olan yağsız pirina+linyit karma briketinin düşme sağlamlığında artış saptanmıştır.

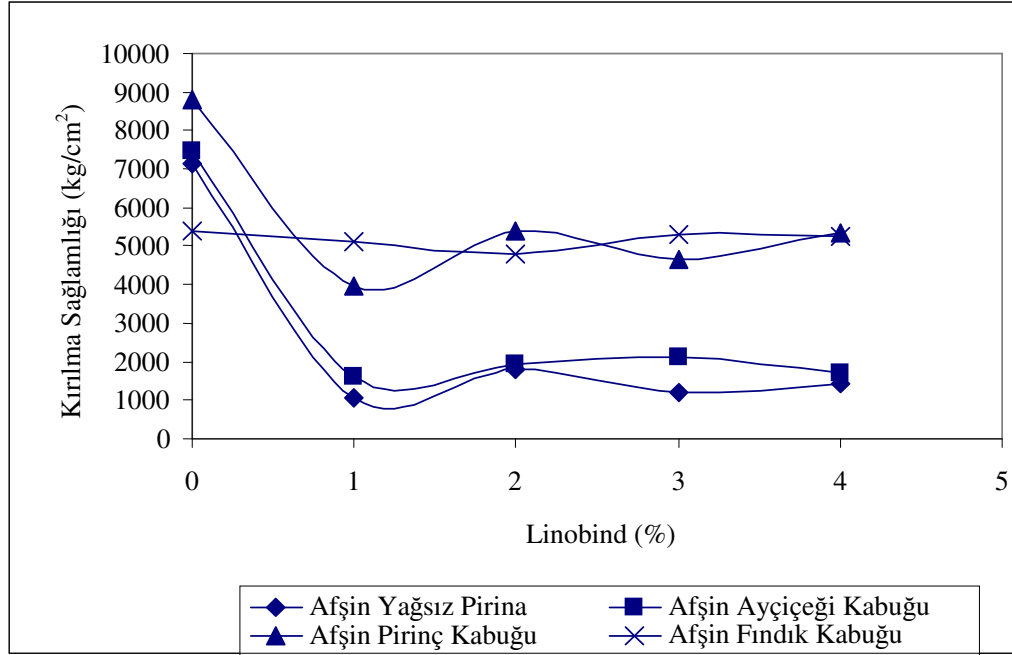


Şekil 5.10: Linobindin Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Düşme Sağlamlığına Etkisi

Bağlayıcı olarak linobind kullanılmasının üretilen briketlerin kırılma sağlamlıklarına etkileri Şekil 5.11'de yer almaktadır. Görüldüğü gibi, pirinç kabuğu+linyit, ayçiçeği kabuğu+linyit ve yağsız pirina+linyit karma briketlerinin kırılma sağlamlıkları, % 1'lik linobind katılması sonucunda dahi önemli düşüşler göstermiştir. Sadece fındık

kabuğu+linyit karma briketlerinin kırılma sağlamlıkları linobind ilavesiyle önemli bir değişim göstermemiştir.

Linobindin bağlayıcı olarak katıldığı briketlerin suya dayanım test sonuçları Şekil 5.12’de görülmektedir. Genel olarak, linobindin katılması üretilen briketlerin suya dayanımlarında büyük ölçüde artış sağlamıştır. En belirgin etki %1’lik linobind katkısında saptanmıştır.

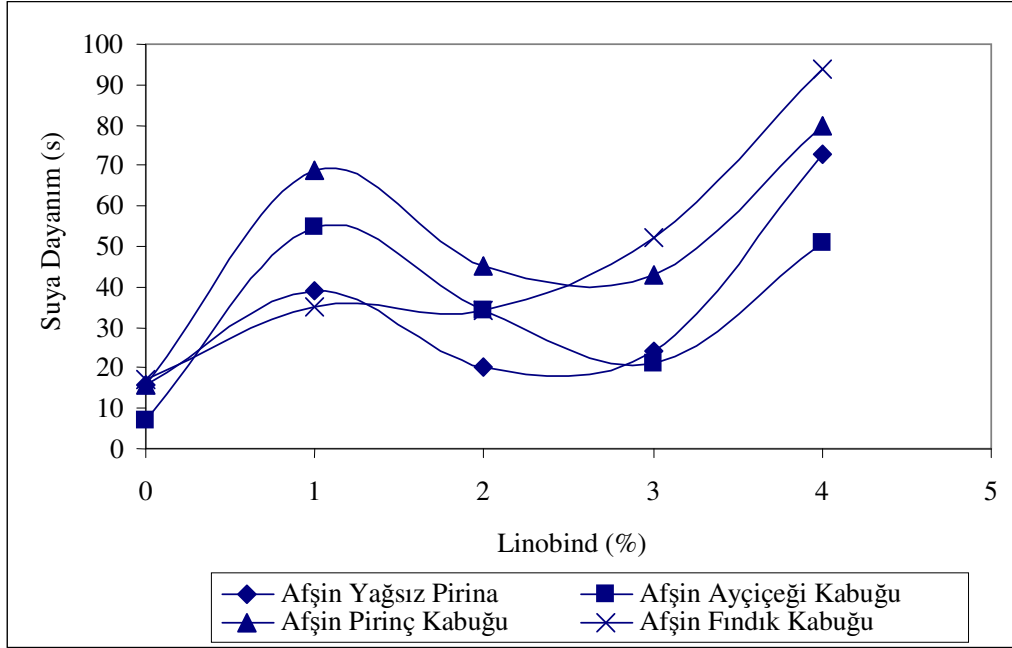


Şekil 5.11: Linobindin Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Kırılma Sağlamlığına Etkisi

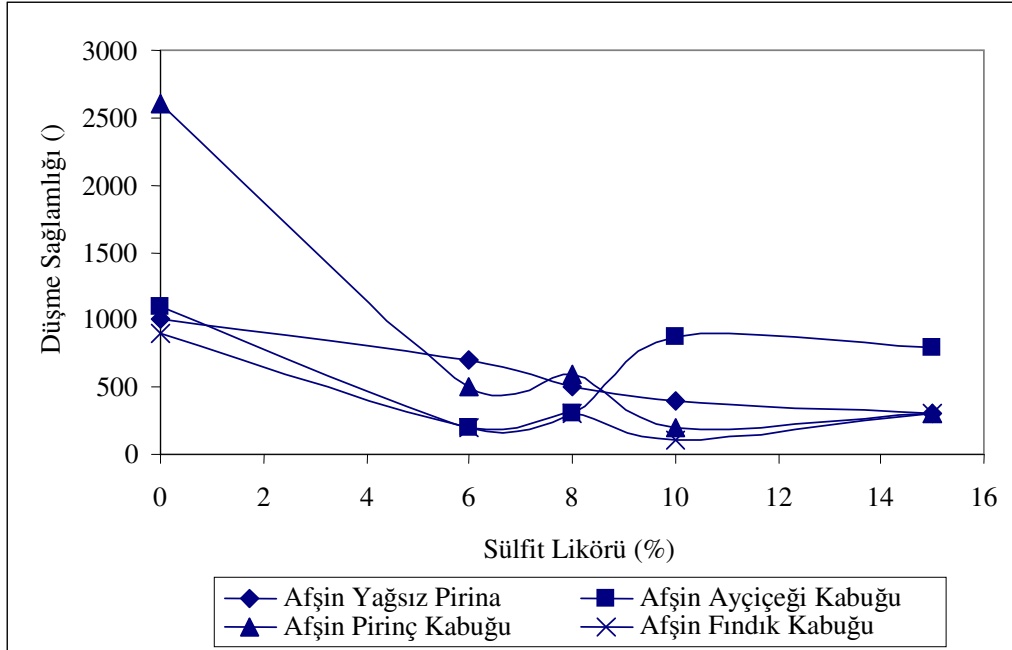
5.3.3 Sülfid Likörünün Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Etkileri

Afşin-Elbistan linyiti ile her bir biyokütlenin karışımına sülfid likörü ilave ederek 60 ton’luk kuvvet uygulanması sonucunda üretilen briketlere düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve suya dayanım testleri uygulanmıştır.

Sülfid likörünün %6, %8, %10 ve %15 oranlarında bağlayıcı olarak katılmasının, biyokütle linyit karma briketlerinin düşme sağlamlığına etkileri Şekil 5.13’te görülmektedir.



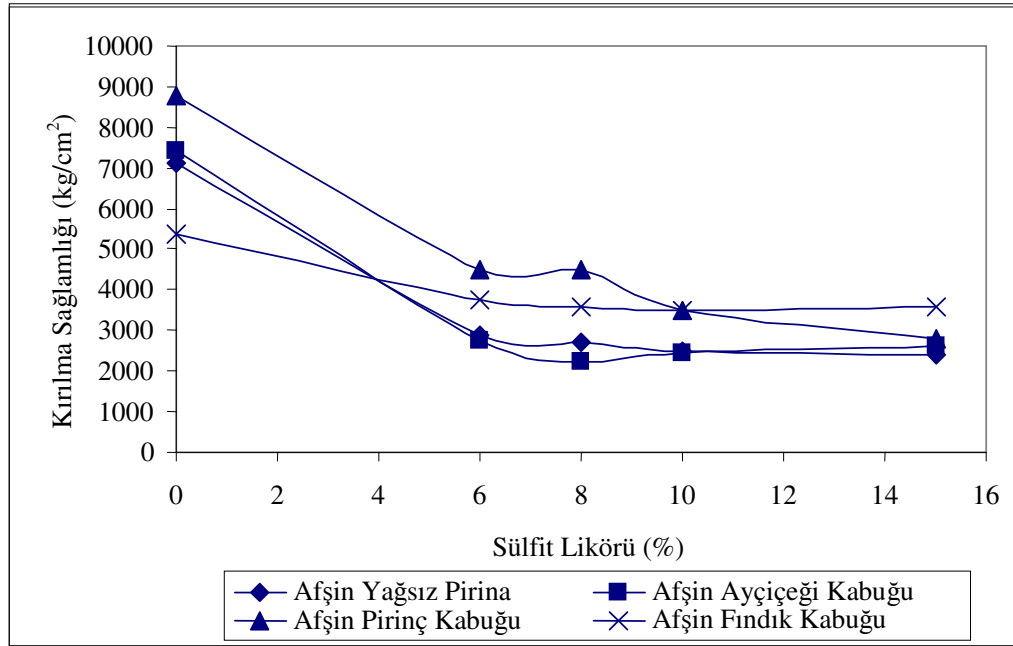
Şekil 5.12: Linobindin Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Suya Dayanıklılığına Etkisi



Şekil 5.13: Sülfite Likörünün Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Düşme Sağlamlığına Etkisi

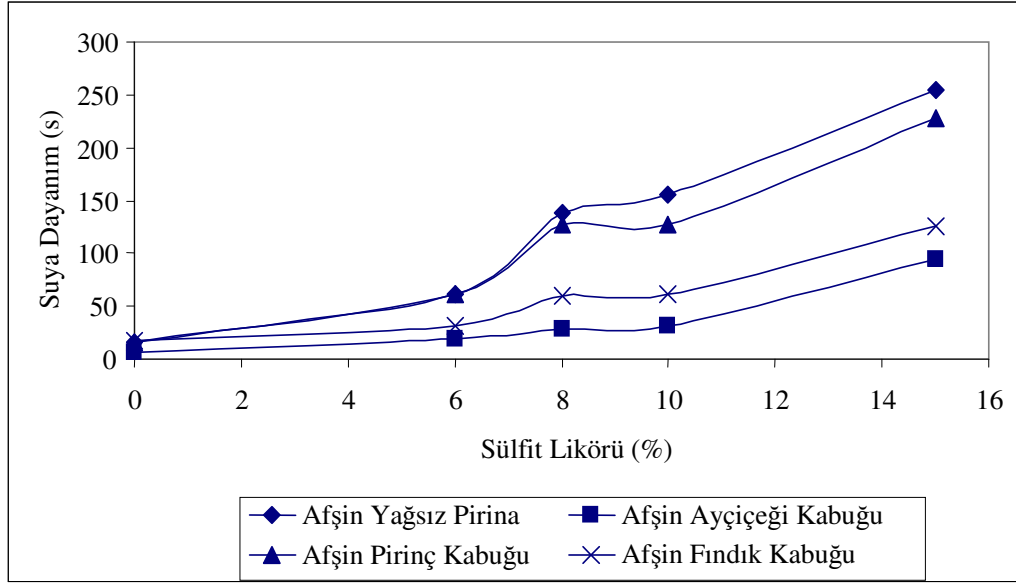
Genel olarak, sülfite likörünün bağlayıcı olarak katılması, üretilen karma briketlerin düşme sağlamlığını olumsuz etkilemiş ve daha az sağlam briketler üretilmiştir. En büyük olumsuz etki pirinç kabuğu+linyit karışımından üretilen briketlerin düşme sağlamlığında görülmüştür. Bağlayıcısız olarak üretilen yağsız pirina+linyit karma briketinin düşme sağlamlığı 2600 iken, bu değer %6, %8, %10 ve %15 sülfite likörü katılması sonucunda, sırasıyla, 500, 600, 200 ve 300'e düşmüştür. Ayçiçeği kabuğu+linyit karma briketinin düşme sağlamlığı ise %10 ve %15 oranlarında sülfite likörü katılması hallerinde, önemli düşüşler göstermemiştir.

Sülfite likörünün bağlayıcı olarak kullanılmasının üretilen briketlerin kırılma sağlamlıklarına etkileri Şekil 5.14'te görülmektedir.



Şekil 5.14: Sülfite Likörünün Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Kırılma Sağlamlığına Etkisi

Biyokütle+linyit karışımlarından üretilen tüm briketlerin kırılma sağlamlıkları, sülfite likörünün katılması sonucunda, düşüş göstermiştir. En büyük düşüş pirinç kabuğu+linyit karma briketlerinde görülmüştür. Fındık kabuğu+linyit karışımından üretilen karma briketlerin kırılma sağlamlığında ise büyük düşüşler saptanmamıştır. Sülfite likörünün bağlayıcı olarak katıldığı briketlerin suya dayanım test sonuçları Şekil 5.15'te yer almaktadır.



Şekil 5.15: Sülfite likörünün Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Linyit+Biyokütle Karma Briketlerinin Suya Dayanıklılığına Etkisi

Sülfite likörünün bağlayıcı etkisinin iyi olduğu ve katıldığı tüm briketlerin suya dayanımlarını artırdığı görülmektedir. Bağlayıcısız yağsız pirina+liniyit karma briketlerinin 16 saniye olan suya dayanımları, %6, %8, %10 ve %15 sülfite likörü katılması sonucunda, sırasıyla, 62, 138, 156 ve 255 saniyelere çıkmıştır. Pirinç kabuğu+liniyit karma briketlerinin suya dayanımları da, sülfite likörünün bağlayıcı etkisiyle, büyük artışlar göstermiştir. Bağlayıcısız pirinç kabuğu+liniyit briketlerinin 16 saniye olan suya dayanımları, katılan bağlayıcının artan oranıyla yükselmiş ve %15'lik katkı oranında 227 saniyeye çıkmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Afşin-Elbistan linyitinin dört farklı biyokütle ile (fındık kabuğu, ayçiçeği kabuğu, pirinç kabuğu ve yağsız pirina) dört değişik oranda (% 5, % 10, % 15, % 20) karıştırılarak, bağlayıcı ve bağlayıcısız olarak üretilen briketlere uygulanan testlerden çıkarılan genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Briketleme kuvvetinin 60 ton olması yeterlidir.
2. Bu çalışmada kullanılmış olan biyokütlelerin ısı değerleri, Afşin-Elbistan linyitinin 1,7-2,2 katı arasında değişmektedir. Bu durumda, biyokütle katkısı ısı değeri artırıcı etki yapmaktadır.
3. Pirinç kabuğunun katılması üretilen briketlerin düşme ve kırılma sağlamlıklarını büyük ölçüde artırmıştır. Pirinç kabuğu katkılı briketlerin bu iki özelliği de standartlara uygundur.
4. Biyokütlelerin linyite katılması genel olarak üretilen briketlerin suya dayanımını azaltmıştır.
5. Biyokütle katkı oranının %5'in üzerine çıkması test sonuçlarını önemli ölçüde etkilemediğinden, katkı oranı artırılarak üretilen briketlerin ısı değerleri yükseltilebilir.
6. Melasın bağlayıcı olarak kullanılması, üretilen biyokütle+liniyit karma briketlerinin düşme ve kırılma sağlamlıklarında, genel olarak, düşüşe neden olmuştur. Ancak, briketlerin suya dayanımları artan melas oranıyla büyük artış göstermiştir. Suya en dayanıklı briketler melasın bağlayıcı olarak kullanılmasıyla üretilmişlerdir.
7. Linobind ile sülfite likörünün bağlayıcı olarak kullanılmaları, üretilen biyokütle+liniyit karma briketlerinin düşme ve kırılma sağlamlıklarında genel olarak düşüşe neden olurken, suya dayanımlarında ise büyük artışlar olmuştur.

8. Denenmiş olan bağlayıcılar içinde, suya dayanım açısından, en etkili olanı melastır.
9. Üretilmiş olan briketlerin tamamının kırılma sağlamlığı standartlara uygundur.
10. Ayçiçeği+linyit karma briketine melas katılması, kırma ve düşme sağlamlıklarının standartlara uymasını sağlamıştır.
11. Sülfite likörü katılarak üretilen briketlerden hiçbiri gerekli düşme sağlamlığını sağlayamamıştır.

6.2 Öneriler

1. Kullanılan bağlayıcılar, kırılma ve düşme sağlamlığını negatif yönde etkilediği için farklı bağlayıcıların denenmesi faydalı olacaktır.
2. Bu çalışmada üretilen briketlerinin suya dayanıklılığı düşük olduğundan, su geçirmeyen naylon torbalar içerisinde depolanması ve nakledilmesi gerekmektedir.
3. Toz ve ince taneli Afşin-Elbistan linyitine uygulanan bu briketleme çalışması, ülkemizde bulunun diğer rezervi yüksek ve ısıl değeri düşük olan toz ve ince taneli kömürlere uygulanabilir.
4. Kullanılan biyokütle atıkları dayanıklılığı olumsuz yönde etkilediği için, farklı biyokütle atıklarının da denenmesi uygun olacaktır.
5. Biyokütle katkı oranının %5'in üzerine çıkarılması test sonuçlarını etkilemediğinden, briketlerdeki biyokütle oranının artırılması, üretilecek yakıtın özelliklerini iyileştirecektir. Biyokütlenin kül içeriği düşük, ısıl değeri linyitten yüksek olduğundan, karma briketin yakıt değeri artacaktır.
6. Üretilen briketlere tambur testi uygulanarak, ufalanma özellikleri de incelenmelidir.
7. Linyite katılan biyokütle çeşidi birden fazla olabilir; çünkü, deneysel çalışmalardan da anlaşıldığı gibi, her biyokütlenin üretilen briketlerin özelliklerine etkisi farklı olmaktadır.
8. Üretilen briketlerin yanma özelliklerinin araştırılması da gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Gürbüz-Beker, Ü. Ve Kural, O.,** 1998. Kömürün Briketlenmesi, Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, Ed. Kural O., Bölüm 26, İstanbul.
- [2] **Kılıçarslan, A.,** 2000. Armutçuk ve Amasra Kömürlerinin Briketlenmesi ve Briketlerin Yanma Özelliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Zonguldak.
- [3] **Yücel, F.M.,** 1983. Briketleme Teknolojisi ve Türkiye İçin Önemli Yüksek ve Düşük Küllü İki Kömür Örneğinin Melas ve Değişik Briketlenmeleri ve Briketlerin Sobada Yakılmaları, MTA, Ankara, 364-375.
- [4] **Çiñinođlu, Ö.,** 2003. İthal ve Yerli Kömürlere Dayalı Pres Kömür Üretimi ve Briket kalitesine Etki Eden Faktörler, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Adana.
- [5] **Şahan, M.,** 1999. Biyokütlenin Briket Üretiminde Kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Arslansan, E.,** 1996. Ermenek Kömürlerinden Pilot Çapta Yeni Bir Teknik ile Briket Üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Zonguldak.
- [7] **Kemal, M. ve Efes, Z.,** 1975. Suya Dayanıklı Briket Üretimi İçin Afşin-Elbistan Linyitine Uygulanan Briketleme Testleri, MTA Teknoloji Dairesi Raporu, Ankara.
- [8] **Fritzsche, A.,** 1941. Braunkohle, **40**, 509-26, (Edinildiği kaynak: 5).
- [9] **Scheithaver, W.,** 1902. Braunkohle, **1**, (Edinildiği kaynak: 5).
- [10] **Halilođlu, T.,** 2000. Amasra Bölgesi Kömürlerinin Katkısız Briketlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Zonguldak.
- [11] **Kegel, K.,** 1903. Braunkohle, **2**, (Edinildiği kaynak: 5).

- [12] **Kural, O.**, 1988. Kömür, Kömür Kimyası ve Teknolojisi, Ed. Kural, O., Bölüm 13, Kurtiş Matbaası, İstanbul.
- [13] **Zakar, P. Toth. J.** 1959. Stand und Probleme der Brikettierung Ungarischen Kohlen mit Bindern, Ittein Akademia Verlag, Berlin.
- [14] **Yaşar, Ö.**, 1990. Bugüne Kadar Ülkemizde İşletmeler Bazında Yapılan Briketleme Çalışmaları ve Bunların Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Elloit, M. A.**, 1982. Chemistry of Coal Utilization, Second Supplementary Volume, John Wiley and Sons Inc., New York.
- [16] **Kural, O.**, 1991. Kömürlerin Briketlenmesi, Kömür, (Ed. O. Kural), Bölüm 17, İstanbul.
- [17] **Werner, O.**, 1953 Leitfaden der Brennstoff-Brikettierung, F. Enke, Stuttgart.
- [18] **Özer, A.**, 1997. Linyit Kömürünün Briketlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] **Adge, G.**, 1942. Braunkohle, **41**, (Edinildiği kaynak: 5).
- [20] **Jappelt, K.A. and Papila, M.**, 1973. Linyitlerin Sıcak Usulle ve Bir Bağlayıcı Katılmadan Briketlenmesi, TUBİTAK, Proje No: Mag-207, Mühendislik Araştırma Grubu, Ankara.
- [21] **Kemal, M.**, 1990. Agglomerasyon, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayını, İzmir.
- [22] **Loç., İ.**, 1987. Çan ve Saray Linyitlerinden Briket Yapılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] **Kemal, M., Semerkant., O.**, 1984. Bağlayıcısız Briketlemenin Türkiye İçin Önemi ve Sorunları, 4. Balkan Ülkeleri Cevher Hazırlama Kongresinde Tebliğ, İTÜ Maden Fakültesi Basımı, İstanbul.
- [24] **Sofuoğlu, E.**, 1989. Kömürün Briketlenmesi, Bitime Ödevi, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- [25] **Sağlam, M., Yüksek, M., Tutaş, M. ve Karaduman, M.**, Soma Linyit Kömürü Tozlarından Hava ve Suya Dayanıklı Briket Üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- [26] **Yücel, F. ve Saraçoğulları, M.**, 1984. Sivas-Kangal Linyitlerinin Briketlenerek Değerlendirilmesi, MTA Teknolojisi Dairesi, Ankara.
- [27] **Yücel, F. ve Saraçoğulları, M.**, 1986. Isınmada ve Hava Kirliliğinin Azaltılmasında Briketlemenin Yeri ve Bu Konuda MTA'da Yapılan Önemli Çalışmalar, Türkiye 4. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri, İzmir.
- [28] **Akgün, H.**, 1987. Konya Ermenek Kömürlerinin Briketlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] **Beker-Gürbüz, Ü.**, 1996. Briquetting of Afşin-Elbistan Lignite of Turkey Using Different Waste Materials, *Fuel Processing Technology*, **51**, 137-144.
- [30] **Yaman, S., Şahan, M., Haykırı-Açma, H., Şeşen, K. ve Küçükbayrak, S.**, 2001. Fuel Briquettes From Biomass-Lignite Blends, *Fuel Processing Technology*, **72**, 1-8.
- [31] **Beker-Gürbüz, Ü. ve Küçükbayrak, S.**, 1996. Briquetting of İstanbul-Kemerburgaz Lignite of Turkey, *Fuel Processing Technology*, **47**, 111-118.
- [32] **Beker-Gürbüz, Ü., Küçükbayrak, S. ve Özer, A.**, 1998. Briquetting of Afşin-Elbistan Lignite of Turkey, *Fuel Processing Technology*, **55**, 117-127.
- [33] **Kural, O.**, 1986. Türkiye'de Toz Kömür Problemi ve Briketlemenin Geleceği, 4. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri, İzmir.
- [34] **Wereko-Brobby, C.Y. and Haga, E.B.**, 1996. Biomass Conversion and Technology, John Wiley&Sons, New York.
- [35] **Saraçoğlu, N.**, 2003. Türkiye'nin Enerji Üretiminde Biyokütle Kaynaklarından Yararlanma Olanakları, Karaelmas Üniversitesi, Orman Fakültesi, Yayınlanmamış Notlar, Zonguldak.
- [36] **Yücel, F.B.**, 1994. Enerji Ekonomisi, Febel Ltd.Şti. Raporu, İstanbul.
- [37] **Türkiye 4. Enerji Kongresi**, 1986. Türkiye'nin Bugünkü ve Gelecekteki Enerji Durumu, İzmir.

- [38] **Ültanır, M.Ö.**, 1996. Türkiye'nin Biyokütle Enerji Stratejisi Ne Olmalıdır, *Bilim ve Teknik*, s. 342.
- [39] **Considine, D.M. and Considine, G.D.**, 1983. Van Nostrand's Scientific Encyclopedia, Sixth Edition, Van Renihold Company Inc., New York, USA, s. 354-359.
- [40] **Aubrecht, G.J.**, 1995. Energy, Second Edition, Prenti-Hall Inc., New Jersey, USA.
- [41] **Biyokütle Enerjisi**, <http://www.yoghtforhab.org.tr>, 2007.
- [42] **Demirbaş, A.**, 2001. Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuels and Chemicals, *Energy Conversion and Management*, **42**, 1357-1378.
- [43] **T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**,
<http://www.enerji.gov.tr/dogal/potansiyel/htm>, 2006.
- [44] **Kaya, D., Akgün, F., Olgun, H., Tırıs, M. ve Şener, T.**, 2002. Türkiye'nin Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Dönüşüm Sistemlerinde Kullanım İmkanları, *Termodinamik*, **124**, 74-80.
- [45] **Yorgun, S., Şensöz, S. ve Şölener, M.**, 1998. Biyokütle Enerji Potansiyeli ve Değerlendirme Çalışmaları, *Enerji*.
- [46] **Demirbaş, A.**, 2002. Electricity from Biomass and Hydroelectric Development Projects in Turkey, *Energy Exploration and Exploitation*, **20**, 325-335.
- [47] **Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi**, <http://www.dektmk.org.tr>, 15.08.2008.
- [48] **T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**,
http://www.enerji.gov.tr/istatistik_belge/enerji_istatistikleri/gecmis_yillar/, 20.08.2008.
- [49] **Rosillo-Calle, F., Bajay, V.S. and Rothman H.**, 2000. Industrial Uses of Biomass, pp.1-2, Taylor & Francis Inc., New York.

- [50] **Meteođlu, M.**, 2006. Çeşitli Biyoktle Numunlerinin Yanma zelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [51] **ASTM-D 5142-04** 2004. Standard Test Methods for Proximate Analysis of the Analysis Sample of Coal and Coke by Instrumental Procedures, *Annual Book of ASTM Standards*.
- [52] **ASTM-D 4442**, 1992. Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials, *Annual Book of ASTM Standards*.
- [53] **ASTM-E 872**, 1982. Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels, *Annual Book of ASTM Standards*.
- [54] **ASTM-E 1755**, 1995. Ash in Biomass, *Annual Book of ASTM Standards*.
- [55] **ASTM-D 5865-07a**, 2007. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke, *Annual Book of ASTM Standards*.
- [56] **ASTM-D 440- 07**, 2007. Standard Test Method of Drop Shatter Test for Coal, *Annual Book of ASTM Standards*.
- [57] **TS 12055**, 1996. Kömür Briketi- Ev Isınmasında Kullanılan, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

10.08.1982 Eskicuma/Bulgaristan doğumlu olan Kim. Müh. Emine DAHILOĞLU 2001 yılında Kırklareli Anadolu Lisesinden, 2005 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2006–2008 tarihleri arasında Öztürk İlaç San. Tic. A. Ş.' de Üretim & Planlama Sorumlusu olarak görev yapmıştır. 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Programında başlamış olduğu Yüksek Lisans eğitimine halen devam etmektedir.