



Afşin-Elbistan Linyitinin Biyokütle ve Bağlayıcı Katkısıyla Briketlenmesi

Ayşe ÖZYUĞURAN^{1, *}, Hanzade HAYKIRI AÇMA¹

¹*İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak-İstanbul*

Başvuru: 27/04/2016 Kabul: 15/06/2016

ÖZ

Bu çalışmada, Afşin-Elbistan linyiti fındık kabuğu, ayçekirdeği kabuğu ve pirina katkı maddeleri eklenerek briketlenmiştir. Linyit ve biyokütle numuneleri öncelikle herhangi bir bağlayıcı kullanılmaksızın 280, 555, 830 and 1110 MPa basınç altında ayrı ayrı briketlenmişlerdir. Linyit-biyokütle karışımları % 2, % 5, % 10 and % 20 fındık kabuğu, ayçekirdeği kabuğu ve pirina içerecek şekilde hazırlanmışlardır. Karışımlar üç ayrı bağlayıcı madde (melas, linobind ve sülfür likörü) kullanılarak da briketlenmişlerdir. Elde edilen briketlerin kırılma sağlamlığı, düşme sağlamlığı ve suya dayanıklılıkları saptanmış ve kıyaslanmıştır. Afşin-Elbistan linyitine biyokütle numunelerinin ilave edilmesi, briketlerin düşme sağlamlığını olumlu yönde, suya dayanıklılığını ise olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır. Yağsız pirina ve ayçekirdeği kabuğunun linyite % 2 oranında katılması kırılma sağlamlığının önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. Bağlayıcı maddelerin kullanılması, hem kırılma sağlamlığını hem de düşme sağlamlığını olumsuz yönde etkilemiştir. Ancak, briketlerin suya dayanıklılığı bağlayıcı madde konsantrasyonunun artmasıyla artmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Briketleme, Biyokütle, Linyit, Bağlayıcılar*

BRIQUETTING OF AFŞİN-ELBİSTAN LIGNITE USING BIOMASS AND BINDER ADDITIVES

ABSTRACT

In this study, a lignite sample from Afşin-Elbistan area of Turkey was briquetted using hazelnut shell, sunflower shell and prina as additives. The lignite and biomass samples were first briquetted separately without blending under pressures of 280, 555, 830 and 1110 MPa. Lignite-biomass blends were prepared to contain 2, 5, 10 and 20 %wt hazelnut shell, sunflower shell and prina as additives. The blends were also briquetted using three different binder materials (molasses, starch and black liquor). Shatter index, compressive strength and water resistance of the formed briquettes were determined and compared. The addition of biomass samples into Afşin-Elbistan lignite were found to affect shatter index positively and to adversely affect the water resistance of briquettes. The addition of 2 %wt prina and sunflower shell into lignite caused a significant increase in compressive strength. Using binder materials affected both compressive strength and shatter index negatively. However, the water resistance of the briquettes increased with the increase in binder material concentration.

Keywords: *Briquetting, Biomass, Lignite, Binder Materials*

*İletişim yazarı, e-mail: kmayse@itu.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye’de 14 milyar ton linyit rezervi mevcut olmasına rağmen, bu rezervler ev yakıtı olarak sınırlı bir şekilde kullanılmakta, ısınmada daha çok ithalata dayalı doğalgaz, petrol ve ithal kömür kullanılmaktadır [1]. Türkiye’de 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. Türkiye’deki linyitlerin büyük bölümü yüksek oranda nem, küllük 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 tanecekler taşınmaktadır. Ayrıca, ince taneli ve toz kömürlerin nakliyesinde, depolanmasında çeşitli problemler ortaya çıkmaktadır. Türk linyitlerindeki bu olumsuz etkileri azaltmak için uygulanabilecek en etkin yöntem briketlemedir.

Bu çalışmada, Afşin Elbistan linyiti kömürü, düşük ısı değer ile yüksek nem ve küllük oranına sahip ve Türkiye’nin linyit rezervi en yüksek (3.9 milyar ton) kömürü olmasından dolayı, briketleme çalışmalarında kullanılacak kömür numunesi olarak seçilmiştir [1].

Petrol ve doğalgazın yakın bir gelecekte tükenen bir potansiyele sahip olan biyokütle enerjisinin kullanımının yaygınlaşmasını gerektirmektedir. Türkiye’nin biyokütle potansiyeli içinde en yüksek paya, Dünya üretiminin % 70’inin ve ihracatının ise % 80’inin gerçekleştirildiği fındık [2], yıllık 400.000 ton rekolte ile pirina [3] ve 1380.000 ton rekolte ile ayçekirdeği [4] sahiptir.

Biyokütle numuneleri olarak fındık kabuğu, ayçekirdeği kabuğu ve yağsız pirina (zeytinin sıklıktan sonra yağ bakımından zenginliğini yitirmeyen, gübre ya da hayvan yemi olarak kullanılan küspesi) kullanılmıştır. Fındık kabuğu Giresun, ayçekirdeği kabuğu Tekirdağ ve yağsız pirina Çanakkale yöresinden temin edilmiştir.

Herhangi bir bağlayıcı ilavesi olmadan elde edilen linyit-biyokütle karışımlarından dayanıklı briketler elde edebilmek oldukça zordur. Dayanıklı briketler elde edebilmek için katkı maddesi olarak linobind (modifiye nişasta), melas (şeker fabrikalarında artık olarak ele geçen şekerli, kıvamlı sıvı) ve sülfite likörü (odundan kağıt hamuru üretimi prosesinin kullanılmış pişirme sıvısı [5]) kullanılmıştır. Melas ve linobindin farklı çalışmalarda bağlayıcı olarak kullanıldığı bilinmektedir [6, 7].

Biyokütle numuneleri (fındık kabuğu, pirina ve ayçekirdeği) farklı çalışma şartlarında (bağlayıcı ilaveli ve ilavesiz, farklı basınçlarda ve oranlarda) kömür ile birlikte briketlenmiştir. Uygun basınç, biyokütle katkı oranı ve farklı bağlayıcıların (melas, linobind, sülfite likörü) ilavesi ile üretilen briketlerin suya dayanım, düşme ve kırılma sağlamlığı özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Kömür ve biyokütle numuneleri önce laboratuvar ortamı havasında sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutulmuş ve tane boyutu 250 mikronun altında olacak şekilde öğütülmüştür.

Kömür numunesinin kısa analizi “ASTM D5142-04” ve ısı değer analizi “ASTM 5865-07a” standartlarına [8, 9]; biyokütle numunelerinin nem analizleri “ASTM D 4442”, uçucu madde analizleri “ASTM E 872”, küllük analizleri “ASTM E 1755” ve ısı değer analizleri “ASTM E 711-87” standartlarına [10-13] uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2’de görülmektedir.

Briketleme deneylerinde, basınç uygulama hızı 50 mm/dak olan ve 1110 MPa’a kadar presleme yapabilen hidrolik bir pres kullanılmıştır. Briket tabletlerini hazırlamak üzere sertleştirilmiş çelikten yapılmış olan kalıp 50 mm iç çapa ve 100 mm yüksekliğe sahiptir. Tüm briket numuneleri 30 mm çapında, 10 mm yüksekliğinde ve 10 g ağırlığında silindirik şekilde üretilmişlerdir. Üretilen briket numuneleri 1 hafta süreyle oda sıcaklığında dinlendirildikten sonra, dayanıklılık testleri (kırılma sağlamlığı testi, düşme sağlamlığı testi (Shatter indeksi)) uygulanmış, suda dağılma süreleri tespit edilmiş ve optimum presleme basıncı seçilmiştir. Her bir deney için 3 briket üretilmiş ve sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Tablo 1: Afşin-Elbistan Linyit Kömürünün Analiz Sonuçları

(Table 1: Analysis Results of Afşin-Elbistan Lignite Coal)

Numune	Nem (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Küllük (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
Afşin-Elbistan	10.75	45.50	3.50	40.25	1960

Tablo 2: Biyokütle Numunelerinin Analiz Sonuçları

(Table 2: Analysis Results of Biomass Samples)

Numune	Nem (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Küllük (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
Fındık Kabuğu	10.75	64.25	18.75	6.25	4331
Ayçekirdeği Kabuğu	8.25	76.75	12.50	2.50	4215
Yağsız Pirina	8.75	65.00	13.25	13.00	4095

Briketleme basıncının briket numunelerinin özelliklerine etkisini incelemek amacıyla, Afşin-Elbistan linyit numunesi ve biyokütle numuneleri ayrı ayrı 4 farklı basınçta (280, 555, 830 ve 1110 MPa) briketlenmiştir. Üretilen kömür ve biyokütle numunelerine ait briketler Şekil 1’de görülmektedir.

*İletişim yazarı, e-mail: kmayse@itu.edu.tr



Şekil 1. Üretilen kömür ve biyokütle briketleri

(Figure 1. The produced coal and biomass briquettes)

Biyokütle ilavesinin briket numunelerinin dayanımlarına etkisini incelemek amacıyla, 3 biyokütle numunesi farklı oranlarda (% 2, % 5, % 10, % 20) Afşin-Elbistan kömür numunesine ilave edilerek, 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 sülfid likörü ise % 6, % 8, % 10 ve % 20 oranlarında ilave edilmiştir. Üretilen briket numunelerine dayanıklılık testleri uygulanarak farklı bağlayıcıların etkisi incelenmiştir.

Üretilmiş olan briket numunelerine düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve suya dayanım testleri "TSE 12055" standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [14]. Düşme sağlamlığı testlerinde briket numuneleri, 180 cm 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.

Kırılma sağlamlığı veya direnci kırılmadan veya çatlamadan önce bir briketin dayanabileceği maksimum yüküdür [15]. Bir hafta süre ile dinlendirilen briket numunelerine, Instron Table Model 1195 marka cihaz (50 ton yük uygulayabilen universal 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.

Üretilen briket numunelerinin suda dayanımlarını belirlemek amacıyla, briketler su içerisine atılarak suda dağılımlarına kadar geçen süre tespit edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Briketleme basıncının, üretilen briketlerin özelliklerine etkisini araştırmak amacıyla Afşin-Elbistan linyiti ile her bir biyokütle numunesi ayrı ayrı 4 farklı presleme basıncı

uygulanarak briketlenmiştir. Birçok araştırmacı, yeterli mekanik dayanıklılığa sahip briket elde edebilmek için optimum bir briketleme basıncının seçilmesi gerektiğini vurgulamışlardır [16-19]. Üretilen briketlere düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve suya dayanıklılık testleri uygulanmıştır.

Linyit ve biyokütle numunelerine uygulanan mekanik dayanıklılık ve suya dayanıklılık test sonuçları Şekil 2'de görülmektedir. Basıncın üretilen briketin düşme sağlamlığına en belirgin etkisi yağsız pirina kullanılan briketlerde görülmektedir. 280 MPa'lık basınç altında üretilen yağsız pirina briketinin düşme sağlamlığı 498 iken, basıncın 830 MPa'a çıkmasıyla bu değer 2170'e yükselmiş, 1110 MPa üzerinde ise 1064'e düşmüştür. Aynı eğilim ayçiçeği kabuğu numunesinin düşme sağlamlığında da gözlemlenmiştir. Fındık kabuğu ve Afşin-Elbistan linyiti için basıncın düşme sağlamlığına etkisi çok sınırlı kalmıştır.

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.

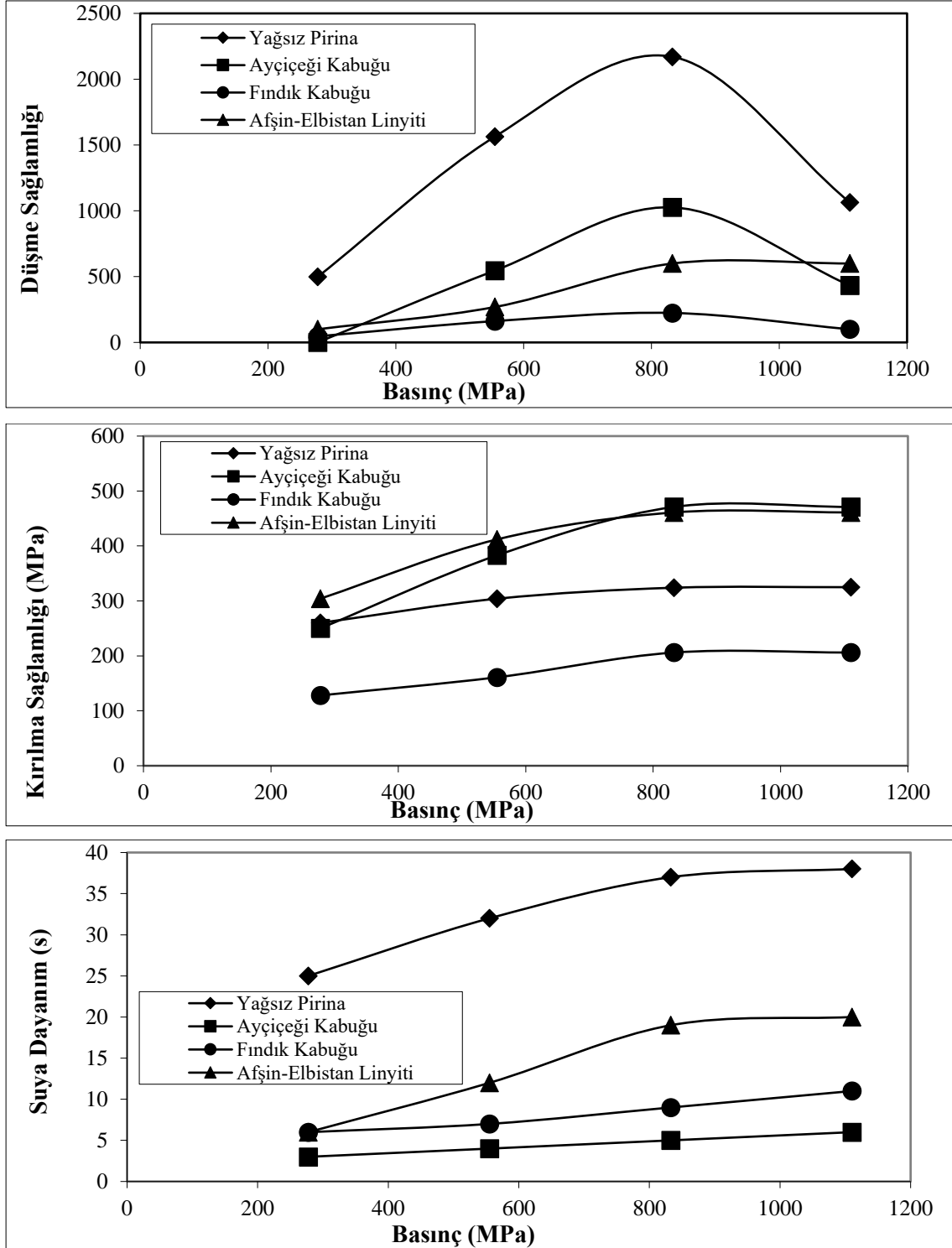
Buna karşılık, Afşin-Elbistan linyiti ile ayçekirdeği kabuğu numunelerinden üretilen briketlerin kırılma sağlamlıkları uygulanan basıncın artırılması sonucunda önemli ölçüde iyileşme göstermiştir. 280 MPa'lık basınç uygulanarak üretilen linyit briketinin 304 MPa olan kırılma sağlamlığı, 1110 MPa'lık basınç uygulandığında 461 MPa'a çıkmıştır. Ayçekirdeği kabuğundan 280 MPa'lık basınç uygulanarak üretilen briketin kırılma sağlamlığı ise, basıncın 1110 MPa'a çıkarılması sonucunda 250 MPa'dan 471 MPa'a yükselmiştir.

Genel olarak, briketleme basıncının 830 MPa'a kadar çıkarılması, üretilen linyit ve biyokütle briketlerinin kırılma sağlamlıklarını artırmıştır; ancak, basıncın 830 MPa'ın üzerine çıkarılmasının önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Chin ve Siddiqui [20] pirinç kabuğundan hazırladıkları briketlerde, briketleme basıncının artmasıyla briketlerin kalitesinin arttığını belirlemişlerdir. Sun ve Ç.A. [21] Çin linyitlerini kullanarak ürettikleri katkısız briketlerin kırılma sağlamlığının, briketleme basıncının artmasıyla arttığını saptamışlardır. Diğer taraftan, Ndiema ve Ç.A. [22]

*İletişim yazarı, e-mail: kmayse@itu.edu.tr

maksimum bir briketleme basıncının olduğu ve bu basıncın üstüne çıkıldığında da briketin sağlamlığına önemli bir etkinin sağlanamayacağı sonucuna

varmışlardır. Mani ve Ç.A. [23]'a göre, sıkıştırma basıncı briketleme prosesinin toplam enerji tüketiminde en büyük paya sahiptir.



Şekil 2. Briketleme basıncının üretilen briket numunelerinin mekanik özelliklerine ve suya dayanıklılığına etkisi (Figure 2. Effects of briquetting pressure on the mechanical properties and water resistance of the formed briquettes)

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; ayçekirdeği kabuğu briketi ve fındık kabuğu briketi için çok sınırlı kalmıştır. Ancak, 280 MPa'lık basınç uygulanarak üretilen yağsız pirina briketinin suya dayanım süresi yaklaşık 25 saniye iken, 1110 MPa'lık 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. Basıncın 280 MPa'dan 1110 MPa'a çıkarılması, linyit briketlerinin suya dayanım sürelerini 6 saniyeden 20 saniyeye çıkarmıştır.

Düşme ve kırılma sağlamlığı ile suya dayanım testlerinin sonuçlarının incelenmesi, briketleme basıncının 830 MPa'ın üzerine çıkartılmasının gerekmediğini göstermiştir. Bu nedenle, linyit+biyokütle karma briketlerinin üretilmesi ve bağlayıcı etkilerinin incelendiği tüm deneylerde 830 MPa'lık briketleme basıncı uygulanmıştır.

Bu çalışma için seçilmiş olan 3 farklı biyokütle numunesi olan ayçekirdeği 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, 830 MPa'lık presleme basıncı uygulanarak briketlenmiştir. Üretilen linyit+biyokütle karma briketlerine düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve suya dayanıklılık testleri uygulanmıştır.

Biyokütle katkı oranlarının üretilen briketlerin mekanik özelliklerine ve suya dayanıklılığına etkileri Şekil 3'de görülmektedir.

Yağsız pirina, ayçekirdeği kabuğu ve fındık kabuğunun Afşin-Elbistan linyitine katılmasının, üretilen karma briketlerinin düşme sağlamlığına önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Katkısız linyitten üretilen briketin düşme sağlamlığı 600 iken bu değer, % 20 oranında yağsız pirina, ayçekirdeği kabuğu ve fındık kabuğu katılmasıyla sırasıyla 1100, 1200 ve 1300 değerlerine ulaşmıştır.

Fındık kabuğunun linyit numunesine değişen oranlarda katılmasının, üretilen karma briketlerin kırılma sağlamlığına önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Yağsız pirina ve ayçekirdeği kabuğunun % 2 oranında katılması kırılma sağlamlığını hemen hemen aynı ve önemli ölçüde artırmıştır. Afşin-Elbistan linyitinden katkısız olarak üretilen briketin kırılma sağlamlığı 461 MPa iken, % 2 yağsız pirina katılması bu değeri 667 MPa'a, % 2 ayçekirdeği kabuğu katılması ise 706 MPa'a yükseltmiştir. Yağsız pirina ve ayçekirdeği kabuğunun katkı oranının % 2'den, % 5, % 10 ve % 20'ye çıkarılması üretilen karma briketlerin kırılma sağlamlığında ilave bir gelişme sağlamazken, fındık kabuğu katısının % 2'den % 5'e çıkarılması, kırılma

sağlamlığının 490 MPa'dan 528 MPa'a çıkmasına neden olmuştur. Fındık kabuğu katısının % 5'in üzerine çıkarılması ise ilave bir etki sağlamamıştır.

Genel olarak, biyokütle katısının briketlerin suya dayanıklılığını düşürdüğü saptanmıştır. Ancak, bu olumsuz etki fındık kabuğu ve yağsız pirina için sınırlı kalırken, ayçekirdeği kabuğu için büyük olmuştur. Afşin-Elbistan linyitinden katkısız olarak üretilen briketlerin yaklaşık 20 saniye olan suya dayanıklılık süresi, ayçiçeği katısı 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.

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.

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 830 MPa'lık basınç uygulanmıştır. Melas, linobind ve sülfid likörünün bağlayıcı olarak kullanıldığı karışımlardaki biyokütle oranları da % 5 olarak sabit tutulmuştur.

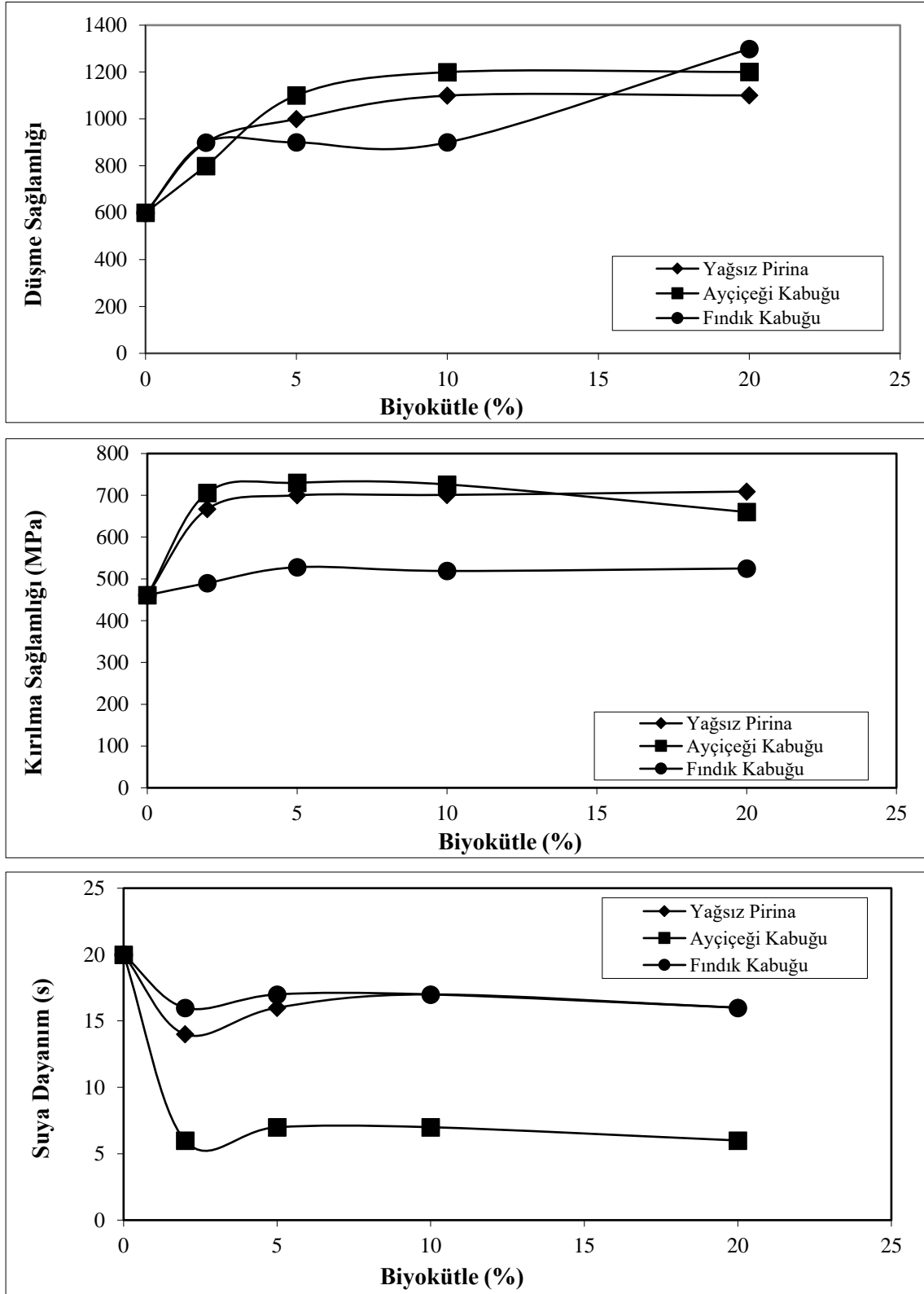
Biyokütle-linyit karışımına % 2, % 5, % 10 ve % 15'lik oranlarda melas ilave ederek 830 MPa'lık basınç uygulanması sonucunda üretilen briketlere düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve suya dayanım testleri uygulanmıştır.

Melasın bağlayıcı olarak kullanılmasının üretilen karma briketlerin mekanik özelliklerine ve suya dayanıklılık test sonuçlarına etkileri Şekil 4'de görülmektedir. Melasın % 2 oranında bağlayıcı olarak ilave edilmesi, sadece ayçekirdeği kabuğu+linyit karma briketinin düşme sağlamlığında büyük artış sağlamıştır. Melasın bağlayıcı olarak kullanılmadığı ayçekirdeği kabuğu+linyit karma briketinin yaklaşık 1000 olan düşme sağlamlığı, 2500 civarına yükselmiştir. Fındık kabuğu+linyit ve yağsız pirina+linyit karışımlarına melasın katkı oranının % 2'nin üzerine çıkarılması briketlerin düşme sağlamlığında önemli bir farklılık yaratmamıştır.

Genel olarak, melasın bağlayıcı olarak kullanılması, biyokütle+linyit karma briketlerinin kırılma sağlamlıklarında düşüşe neden olmuştur.

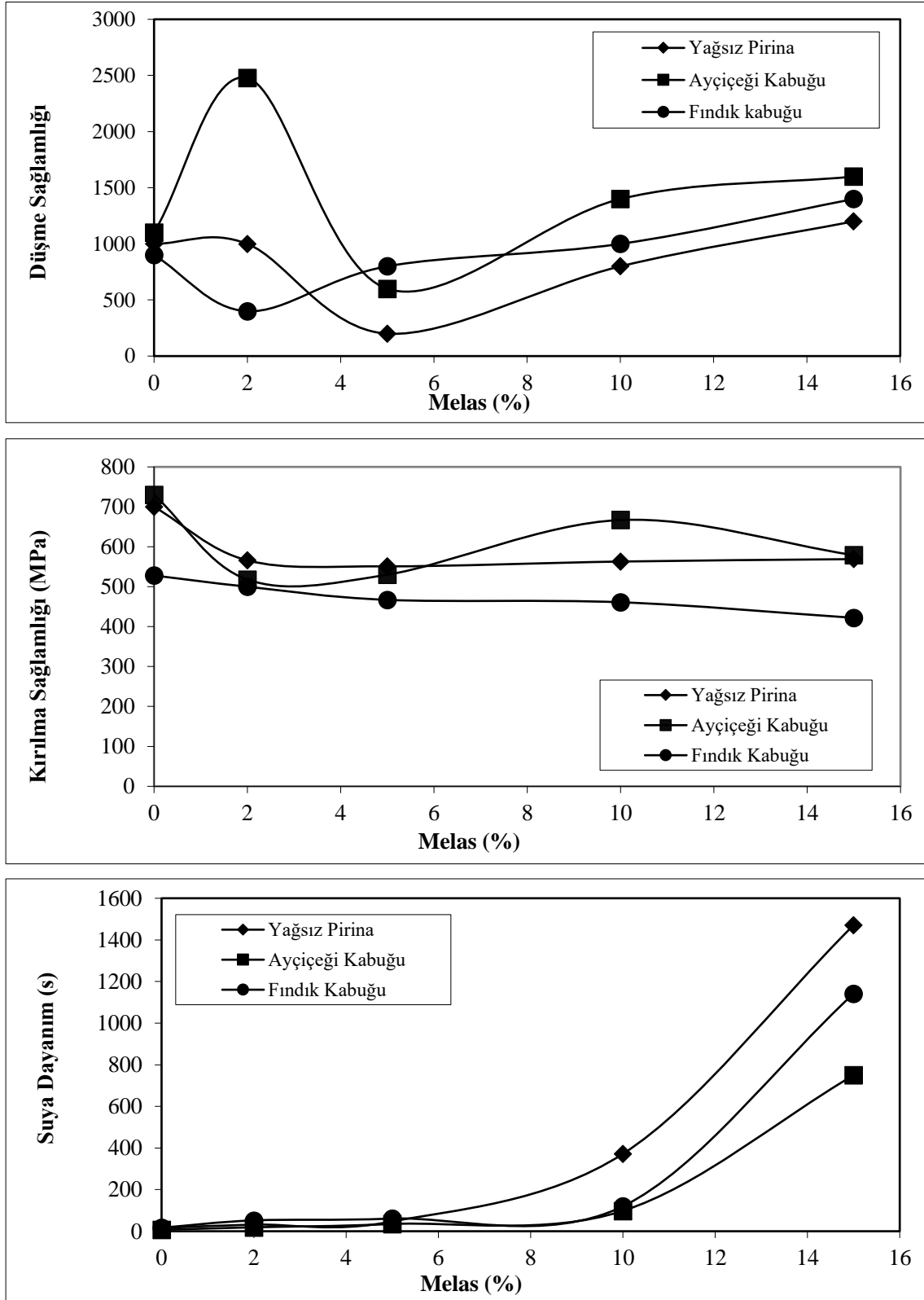
Görüldüğü gibi, melasın bağlayıcı olarak kullanılması üretilen briketlerin suya dayanımlarını büyük ölçüde artırmıştır. % 2, % 5, % 10 ve % 15 oranlarında melas ilavesi yağsız pirina+linyit karma briketinin 16 saniye olan suya dayanım süresini, sırasıyla, 32, 47, 372 ve 1471 saniyelere çıkartmıştır.

Ayçekirdeği 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.



Şekil 3. Biyokütle ilavesinin üretilen karma briket numunelerinin mekanik özelliklerine ve suya dayanıklılığına etkisi

(Figure3. Effects of biomass percentage in the lignite-biomass blend on mechanical strength and water resistance of the formed briquettes)



Şekil 4. Melasın bağlayıcı olarak kullanılmasının linyit+biyokütle karma briketlerinin mekanik özelliklerine ve suya dayanıklılığına etkisi

(Figure 4. Effects of molasses percentage on mechanical strength and water resistance of the formed blend briquettes)

Fındık kabuğu+liniyit karma briketinin suya dayanım süresi olan 17 saniye ise, % 2, % 5, % 10 ve % 15 melas bağlayıcı ile, sırasıyla, 52, 61, 120 ve 1142 saniyelere uzamıştır. Buravchuk ve Guryanova [16], antrasit tozlarından yakıt briketleri üretmek için melası bağlayıcı madde olarak kullanmışlar ve üretilen briketlerin düşme, aşınma ve kırılma sağlamlığı açısından tüketici ihtiyaçlarını sağladıklarını belirtmişlerdir.

Biyokütle+liniyit karışımına linobind ilave ederek 8300 MPa'lık basınç uygulanması sonucunda üretilen briketlere düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve suya dayanım testleri uygulanmıştır. Linobindin % 1, % 2, % 3 ve % 4 oranlarında bağlayıcı olarak katılmasının, biyokütle+liniyit karma briketlerinin bu özelliklerine etkileri Şekil 5'te görülmektedir. Genel olarak, linobindin bağlayıcı olarak kullanılması, üretilen briketlerin düşme sağlamlığını olumsuz yönde etkilemiştir. Sadece % 2 linobind katılmış olan yağsız pirina+liniyit karma briketinin düşme sağlamlığında artış saptanmıştır.

Bağlayıcı olarak linobind kullanılmasının üretilen briketlerin kırılma sağlamlıklarına etkileri incelendiğinde, ayçekirdeği kabuğu+liniyit ve yağsız pirina+liniyit karma briketlerinin kırılma sağlamlıkları, % 1'lik linobind katılması sonucunda dahi önemli düşüşler göstermiştir. Sadece fındık kabuğu+liniyit karma briketlerinin kırılma sağlamlıkları linobind ilavesiyle önemli bir değişim göstermemiştir.

Linobindin bağlayıcı olarak katıldığı briketlerin suya dayanım test sonuçlarına bakıldığında ise, genel olarak, linobindin katılması üretilen briketlerin suya dayanımlarında büyük ölçüde artış sağlamıştır. En belirgin etki % 1'lik linobind katısında saptanmıştır. Taulbee ve Ç.A. [24] toz bitümlü kömür-talaş karışımlarını bir hidrolik pres kullanarak briketlemek için 50'nin üzerinde bağlayıcı maddeyi denemişler ve en iyi performansı gösteren iki bağlayıcıdan birinin buğday nişastası olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, Muaza ve Stegemann [25] nişastanın briketin şişmesine neden olmasından dolayı, briket yoğunluğunu olumsuz etkilediğini saptamışlardır.

Bu çalışmada bağlayıcı madde olarak sülfid likörü de kullanılmıştır. Sülfid likörü, kağıt üretiminde kullanılan odundan kağıt hamuru hazırlanması sırasında oluşan sulu bir çözeltilidir [26, 27]. Afşin-Elbistan linyiti ile her bir biyokütlenin karışımına sülfid likörü ilave ederek 830 MPa'lık basınç 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 mekanik özelliklerine ve suya dayanıklılığına etkileri Şekil 6'da görülmektedir. Genel olarak, sülfid likörünün bağlayıcı olarak katılması, üretilen karma briketlerin düşme sağlamlığını olumsuz etkilemiş ve daha az sağlam briketler üretilmiştir. Bağlayıcısız olarak üretilen pirina+liniyit karma

briketinin düşme sağlamlığı 1000 iken, bu değer % 6, % 8, % 10 ve % 15 sülfid likörü katılması sonucunda, sırasıyla, 500, 600, 200 ve 300'e düşmüştür. Ayçekirdeği kabuğu+liniyit karma briketinin düşme sağlamlığı ise % 10 ve % 15 oranlarında sülfid likörü katılması hallerinde, önemli düşüşler göstermemiştir.

Biyokütle+liniyit karışımlarından üretilen tüm briketlerin kırılma sağlamlıkları, sülfid likörünün katılması sonucunda, düşüş göstermiştir. En büyük düşüşler ayçekirdeği kabuğu+liniyit karma briketlerinde ve pirina+liniyit karma briketlerinde görülmüştür. Fındık kabuğu+liniyit karışımından üretilen karma briketlerin kırılma sağlamlığında ise büyük düşüşler saptanmamıştır.

Sülfid likörünün bağlayıcı etkisinin iyi olduğu ve katıldığı tüm briketlerin suya dayanımlarını artırdığı görülmektedir. Bağlayıcısız pirina+liniyit karma briketlerinin 16 saniye olan suya dayanımları, % 6, % 8, % 10 ve % 15 sülfid likörü katılması sonucunda, sırasıyla, 62, 138, 156 ve 255 saniyelere çıkmıştır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

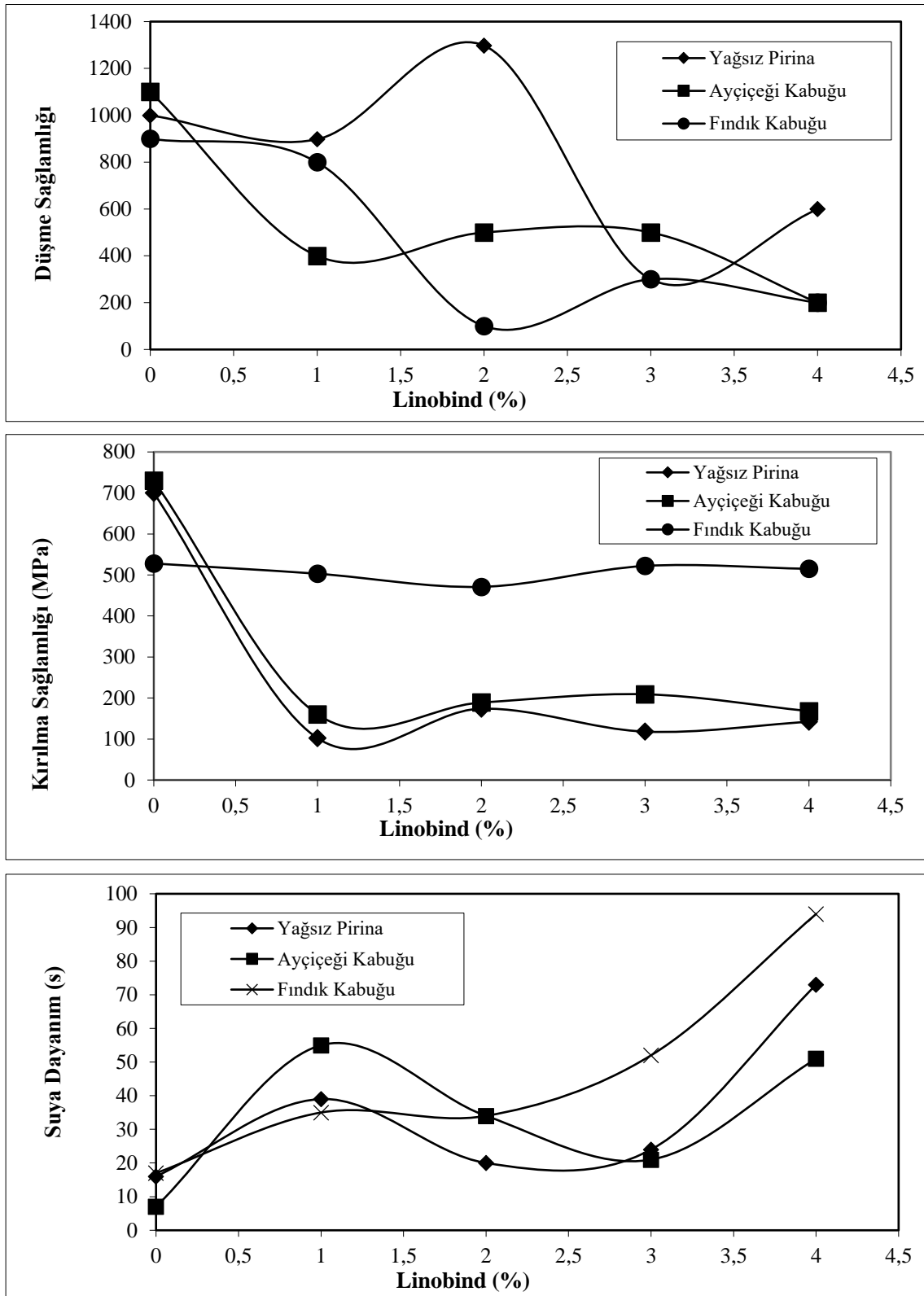
Briketleme basıncının 830 MPa'a kadar çıkartılması, üretilen linyit ve biyokütle briketlerinin düşme sağlamlığını, kırılma sağlamlığını ve suya dayanımlılığını artırmıştır.

Yağsız pirina, ayçekirdeği kabuğu ve fındık kabuğunun Afşin-Elbistan linyitine katılmasının, üretilen briketlerin düşme sağlamlığına etkisi incelendiğinde, katkısız linyitten üretilen briketin düşme sağlamlığı 600 iken bu değer, % 20 oranında yağsız pirina, ayçekirdeği kabuğu ve fındık kabuğu katılmasıyla sırasıyla 1100, 1200 ve 1300 değerlerine ulaşmıştır.

Afşin-Elbistan linyitinden katkısız olarak üretilen briketin kırılma sağlamlığı 461 MPa iken, yağsız pirina ve ayçekirdeği kabuğunun Afşin-Elbistan linyitine % 2 oranında katılması kırılma sağlamlığını sırasıyla 667 MPa ve 706 MPa'a yükseltmiştir.

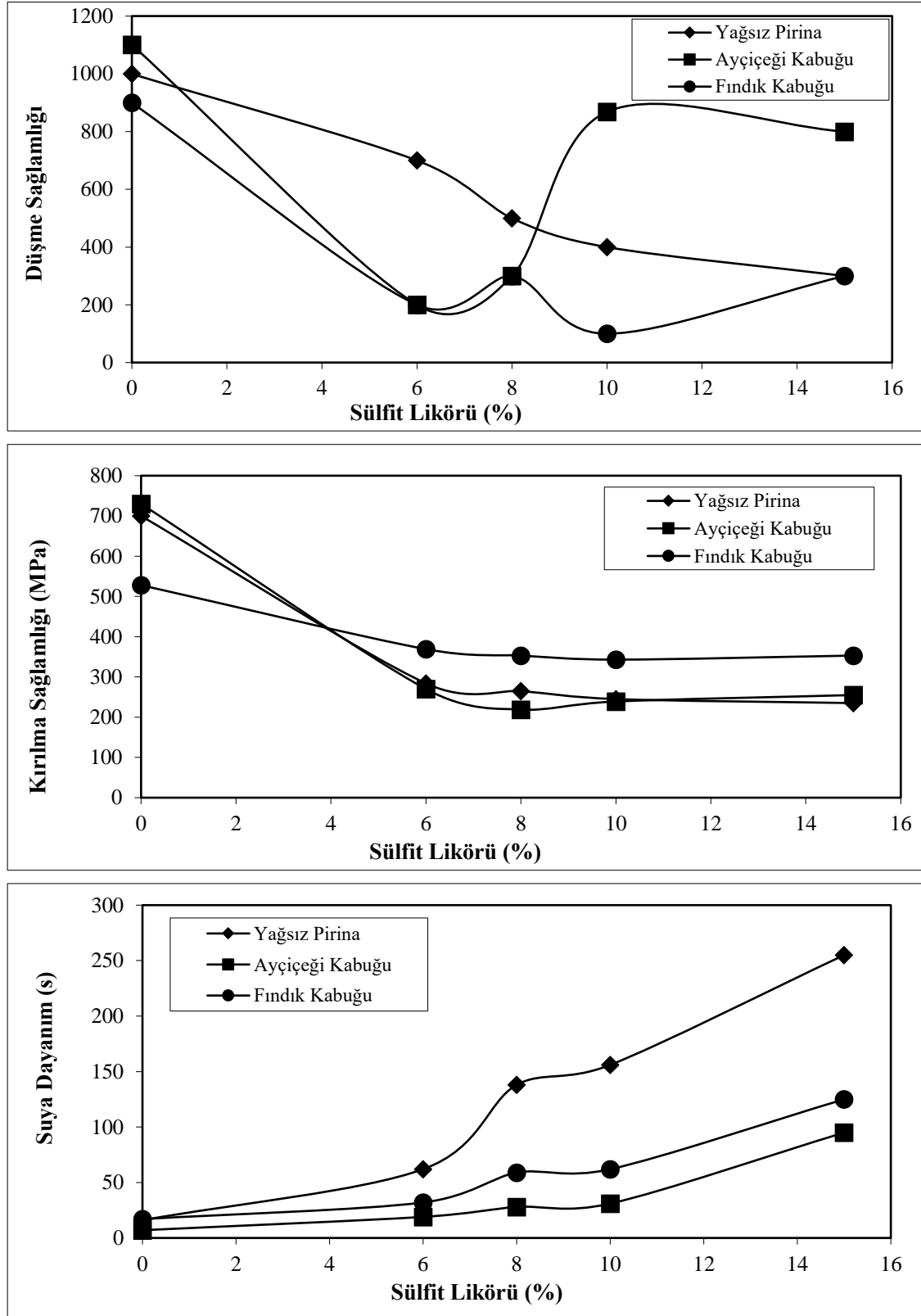
Afşin-Elbistan linyitine katılan 3 farklı biyokütle numunesinin üretilen karma briketlerin düşme sağlamlığını artırıcı etkileri paralellik göstermiştir. Fındık kabuğunun katkı olarak kullanılmasının karma briketlerin kırılma sağlamlığına önemli bir etkisi gözlenmemiştir; diğer iki biyokütlenin artırıcı etkileri ise birbirine oldukça yakındır. Biyokütle numunelerinin üretilen karma briketlerin suya dayanıklılığına etkileri kıyaslandığında ise, ayçekirdeği kabuğunun olumsuz etkisinin büyük olduğu sonucuna varılmıştır.

Briketlere bağlayıcı olarak melas, linobind ve sülfid likörünün katılması briketlerin suya dayanımlarını büyük ölçüde artırmıştır. En yüksek suya dayanım süresi, melas ve yağsız pirinanın katkı olarak kullanılması sonucunda 1471 s olarak saptanmıştır.



Şekil 5. Linobindin bağlayıcı olarak kullanılmasının linyit+biyokütle karma briketlerinin mekanik özelliklerine ve suya dayanıklılığına etkisi

(Figure 5. Effects of gelatinized starch percentage on mechanical strength and water resistance of the formed blend briquettes)



Şekil 6. Sülfit likörünün bağlayıcı olarak kullanılmasının linyit+biyokütle karma briketlerinin mekanik özelliklerine ve suya dayanıklılığına etkisi

(Figure 6. Effects of black liquor content on mechanical strength and water resistance of the formed blend briquettes)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Bilgi Merkezi, Enerji, Kömür. <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>>. Erişim Tarihi: 21 Nisan 2016.
- [2] TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası. Fındık Raporu, 2015. <http://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=24516&tipi=17&sube=0>. Erişim Tarihi: 21 Nisan 2016.
- [3] TÜBİTAK MAM-ÇTÜE, Zeytin Sektörü Atıklarının Yönetimi Projesi (5148602) Nihai Raporu, <<http://www.csb.gov.tr/db/zeytinay/webmenu/webmenu15702.pdf>>. Erişim Tarihi: 22 Nisan 2016.
- [4] TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası. Ayçiçeği ve Ayçiçek Yağı Üretimi, İthalatı ve Sorunları, 2015. <http://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=23161&tipi=17&sube=0>. Erişim Tarihi: 21 Nisan 2016.
- [5] Stenius, P., "Forest Products Chemistry", 2nd ed., **Papermaking Science and Technology Series**, Vol. 3, Finnish Paper Engineers Association and TAPPI, Helsinki, Finland, 62–78, 2000. ISBN 952-5216-03-9
- [6] Benk, A. and Coban, A. "Molasses and air blown coal tar pitch binders for the production of metallurgical quality formed coke from anthracite fines or coke breeze", **Fuel Processing Technology**, Vol. 92, 1078-1086, 2011.
- [7] Gürbüz Beker, Ü. and Küçükbayrak, S. "Briquetting of Istanbul-Kemerburgaz lignite of Turkey". **Fuel Processing Technology**, Vol. 47, 111-118, 1996.
- [8] "Standard Test Methods for Proximate Analysis of the Analysis Sample of Coal and Coke by Instrumental Procedures (D 5142-04)", **Annual Book of ASTM Standards**, 2004a.
- [9] "Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke (D 5865-07a)", **Annual Book of ASTM Standards**, 2007.
- [10] "Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials (D 4442)", **Annual Book of ASTM Standards**, 1992.
- [11] "Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels (E 872)", **Annual Book of ASTM Standards**, 1982.
- [12] "Ash in Biomass (E 1755)", **Annual Book of ASTM Standards**, 1995.
- [13] "Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter (E 711-87)", **Annual Book of ASTM Standards**, 2004b.
- [14] "Kömür briketi–Ev ve benzeri yerleri ısıtmada kullanılan (Coal briquette–For domestic purposes) (TS 12055)", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1996.
- [15] Kaliyan, N. and Morey, R.V., "Factors affecting strength and durability of densified biomass products", **Biomass Bioenergy**, Vol. 33, 337-359, 2009.
- [16] Buravchuk, N.I. and Guryanova, O.V., "Production of fuel briquettes from anthracite fines", **Solid Fuel Chemistry**, Vol. 48, No. 4, 260-264, 2014.
- [17] Tumuluru, J.S., Tabil, L.G., Song, Y., Iroba, K.L. and Meda, V., "Impact of process conditions on the density and durability of wheat, oat, canola, and barley straw briquettes", **Bioenergy Resource**, Vol. 8, 388-401, 2015.
- [18] Zanjani, N.G., Moghaddam, A.Z. and Dorosti, S., "Physical and chemical properties of beet pulp/Mezino bituminous coal briquettes", **Energy Sources Part A**, Vol. 35, 2173-2180, 2013.
- [19] Zhang, J. and Guo, Y., "Physical properties of solid fuel briquettes made from *Caragana korshinskii* Kom", **Powder Technology**, Vol. 256, 293-299, 2014.
- [20] Chin, O.C. and Siddiqui, K. M., "Characteristics of some biomass briquettes prepared under modest die pressures", **Biomass Bioenergy**, Vol. 18, 223-228, 2000.
- [21] Sun, B., Yu, J., Tahmasebi, A. and Han., Y., "An experimental study on binderless briquetting of Chinese lignite: Effects of briquetting conditions", **Fuel Processing Technology**, Vol. 124, 243-248, 2014.
- [22] Ndiema, C.K.W., Manga, P.N. and Ruttoh, C.R., "Influence of die pressure on relaxation characteristics of briquetted biomass", **Energy Conversion and Management**, Vol. 43, 2157-2161, 2002.
- [23] Mani, S., Tabil, L.G. and Sokhansanj, S., "Specific energy requirement for compacting corn stover", **Bioresource Technology**, Vol. 97, No. 12, 1420-1426, 2006.
- [24] Taulbee, D., Patil, D.P., Honaker, R.Q. and Parekh, B.K., "Briquetting of coal fines and sawdust. Part: I Binder and briquetting parameters evaluations", **International Journal of Coal Preparation and Utilization**, Vol. 29, 1-22, 2009.
- [25] Muazu, R.I. and Stegemann, J.A., "Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs", **Fuel Processing Technology**, Vol. 133, 137-145, 2015.
- [26] Mesfun, S., Lundgren, J., Grip, C.E., Toffolo, A., Nilsson, R.L.K. and Rova, U., **Bioresource Technology**, Vol. 166, 508-517, 2014.
- [27] Kumar, H. and Alén, R., "Recovery of aliphatic low-molecular-mass carboxylic acids from hardwood kraft black liquor", **Separation and Purification Technology**, Vol. 142, 293-298, 2015.