

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİKÖY LİNYİTLERİNİN VİNAS BAĞLAYICISI KULLANILARAK ÜRETİLEN
BRİKETLERİNİN DİĞER BAĞLAYICILARLA KIYASLANMASI**

AYLİN BOZTEPE

**DOKTORA TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HANİFİ SARAÇ**

**EŞ DANIŞMAN
DOÇ. DR. JALE GÜLEN**

İSTANBUL, 2016

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİKÖY LİNYİTLERİNİN VİNAS BAĞLAYICISI KULLANILARAK ÜRETİLEN
BRİKETLERİNİN DİĞER BAĞLAYICILARLA KIYASLANMASI**

AYLİN BOZTEPE

**DOKTORA TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HANİFİ SARAÇ**

**EŞ DANIŞMAN
DOÇ. DR. JALE GÜLEN**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİKÖY LİNYİTLERİNİN VİNAS BAĞLAYICISI KULLANILARAK ÜRETİLEN
BRİKETLERİNİN DİĞER BAĞLAYICILARLA KIYASLANMASI**

Aylin BOZTEPE tarafından hazırlanan tez çalışması 29.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hanifi SARAÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Doç. Dr. Jale GÜLEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hanifi SARAÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Jale GÜLEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Güldem ÜSTÜN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hasine KAŞGÖZ
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Yavuz SALT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ali Ekrem MÜFTÜOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Seyfullah KEYF
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

İstanbul Yeniköy bölgesinde yer alan Milten Müteahhitlik maden sahasındaki toz kömürlerin briketleme yöntemiyle değerlendirilmesini öngören bu çalışma beş aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama, maden sahasında bulunan, farklı damarlardaki kömürlerden örnekler alınmasını ve bu örneklerle kısa analizler uygulanmasını kapsamaktadır. İkinci aşama, yapılan analizlerle uygunluğu saptanmış kömür örneğinin briketleme prosesine hazırlanmasını (yıkama, kurutma ve boyutlandırma) içermektedir. Üçüncü aşama, kömür örneğinin, farklı türde bağlayıcılar ve katkı malzemesi kullanılarak briket haline dönüştürülmesine, bir sonraki aşama ise elde edilen briketlere kimyasal analiz ve mekanik dayanım testlerinin uygulanmasına yöneliktir. Çalışmanın son aşaması ise briketlerin analiz sonuçlarının değerlendirilmesini ve endüstriyel ölçekli üretim için optimum koşulların belirlenmesini kapsamaktadır.

Doktora çalışmalarımda danışmanlığımı üstlenen, her daim destek ve yardımlarını gördüğüm, bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren, ilgi ve zamanını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Hanifi SARAC'a saygı ve sevgiyle teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda eş danışmanlığımı üstlenen, her konuda yardımını gördüğüm, çalışmamın her safhasında yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana destek olan, motivasyonumu hiç yitirmememi sağlayan saygı değer hocam Doç. Dr. Jale GÜLEN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez izleme komitesinde yer alan Prof. Dr. Güldem ÜSTÜN'e, Prof. Dr. Fatma KARACA ALBAYRAK'a ve Yrd. Doç. Dr. Seyfullah KEYF'e; süreç boyunca gösterdikleri anlayıştan ve önerilerinden ötürü teşekkür ederim.

Milten Holding Yönetim Kurulu Başkanı sayın Cemil ÖKTEN'e; gerek hammadde olarak kullandığım kömürün temini, gerekse gerçekleştirdiğim laboratuvar çalışmalarında Yeniköy Bölge Laboratuvarı'ndaki olanakları kullanmam hususlarındaki desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Çalışmalarımda boyunca yardımını ve ilgisini eksik etmeyen, beraber çalıştığımız süreçte sahip olduğuengin tecrübeleri paylaşan ve her koşulda üzerimdeki desteğini sürdüren saygı değer müdürüm Emir BARUT'a, deneysel çalışmalarımın yanı sıra her konuda ve koşulda destek olmaya devam eden, dostluğunu esirgemeyen değerli çalışma arkadaşım Hakan KOÇBULUT'a, numune temini başta olmak üzere birçok konuda yardımını gördüğüm, endüstriyel ölçekteki briketlemeyle ilgili deneyimlerini paylaşarak

bilgi sahibi olmamı sağlayan değerli çalışma arkadaşım nder şİMşEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan, hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen AİLEME en derin sevgilerimle teşekkür ederim.

Bu çalışmayı hayatımın her anında yanımda olan ve hiçbir konuda fedakarlıktan kaçınmayan canım annem şazime BOZTEPE'ye, canım babam Kemal BOZTEPE'ye ve canım abim Aydın BOZTEPE'ye ithaf ediyorum.

Nisan, 2016

Aylin BOZTEPE

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
KÖMÜR.....	4
2.1 Kömürün Oluşumu ve Sınıflandırılması.....	4
2.2 Kömür Kullanım Alanları.....	7
2.3 Dünyada Linyit Kömürü	9
2.4 Türkiye’de Linyit Kömürü	11
2.5 Kömür Zenginleştirme Yöntemleri	14
BÖLÜM 3	
KÖMÜRÜN BRİKETLENMESİ	19
3.1 Briketlemenin Faydaları	20
3.2 Briketlemede Kullanılan Yöntemler	20
3.3 Briketlemeye Etki Eden Faktörler.....	24
3.4 Briketlerde Aranılan Özellikler	28

3.5	Literatürde Gerçekleştirilen Briketleme Çalışmaları	29
BÖLÜM 4		
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....		44
4.1	Kullanılan Maddelerin Tanıtılması.....	44
4.1.1	Kömür.....	44
4.1.1.1	Kömür Numunesinin Karakterizasyonu.....	47
4.1.2	Bağlayıcılar	50
4.1.2.1	Vinas	50
4.1.2.2	Melas	51
4.1.2.3	Şlempe	51
4.1.2.4	Hümk Asit	52
4.1.3	Söndürülmüş Kireç	53
4.2	Deneylerde Kullanılan Cihazların Tanıtılması.....	54
4.2.1	Isıl Değer Tayin Cihazı	54
4.2.2	Kükürt Analiz Cihazı	55
4.2.3	Nem, Kül, Uçucu Madde Cihazı (TGA).....	57
4.2.4	Briketleme Presi	58
4.3	Kömür Briketleme İşlemi.....	59
4.4	Briketlere Uygulanan Dayanım Testleri	62
4.4.1	Aşınma Sağlamlığı Testi.....	62
4.4.2	Kırılma Sağlamlığı Testi	64
4.4.3	Düşme Sağlamlığı Testi	64
4.4.4	Suya Dayanım Testi	65
BÖLÜM 5		
DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA		66
5.1	Farklı Bağlayıcılarla Yapılan Briketleme Çalışmaları	67
5.1.1	Vinas ile Gerçekleştirilen Çalışmalar	67
5.1.2	Melas ile Gerçekleştirilen Çalışmalar	78
5.1.3	Şlempe ile Gerçekleştirilen Çalışmalar	89
5.1.4	Hümk Asit ile Gerçekleştirilen Çalışmalar	100
5.2	Briketleme Çalışmalarının Genel Değerlendirmesi	110
5.2.1	Bağlayıcı Oranı Bazında Değerlendirme.....	110
5.2.2	Analizler Bazında Değerlendirme.....	129
5.3	Briketleme Maliyet Analizleri	134
BÖLÜM 6		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....		138
6.1	Sonuçlar.....	138
6.2	Öneriler	143
ÖZGEÇMİŞ		152

SİMGE LİSTESİ

CaCO_3	Kalsiyum karbonat
CaO	Kalsiyum oksit
Ca(OH)_2	Kalsiyum hidroksit
CaSO_4	Kalsiyum sülfat
CMC	Karboksimetil selüloz
CO	Karbonmonoksit
CO_2	Karbondioksit
H_2S	Hidrojen sülfür
MJ	Megajoule
MPa	Megapascal
NH_4OH	Amonyum hidroksit
SO_2	Kükürtdioksit
λ	Elek sayısı
l_{ort}	Numunenin aşınma sağlamlığı deneyinden sonraki ortalama tane boyu (mm)
c_i	i'inci elek üzerinde kalan, i+1'inci elekten geçen numunenin kütle yüzdesi
$l_{ort,i}$	i'inci ve i+1'inci eleklerin açıklıklarının ortalaması (mm)

KISALTMA LİSTESİ

ASTM	American Society for Testing and Materials
BET	Brunauer-Emmett-Teller
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
DSC	Differential Scanning Calorimetry
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
FTIR	Fourier Transform Infrared Spektroskopisi
ISO	International Standard Organisation
MİGEM	Maden İşleri Genel Müdürlüğü
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
SEM	Scanning Electron Microscope
TG	Termogravimetrik Analiz
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TTK	Türkiye Taşkömürü Kurumu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Kömür zenginleştirme işlemlerinin sınıflandırılması	15
Şekil 4. 1 İstanbul Yeniköy (Miltan Müteahhitlik) maden sahası	44
Şekil 4. 2 Damar bazında yapılan tuvenan kömür analizleri.....	46
Şekil 4. 3 Miltan Müteahhitlik yıkama tesisi.....	45
Şekil 4. 4 Miltan Müteahhitlik kurutma tesisi	47
Şekil 4. 5 Elek analizinde kullanılan elek sarsma cihazı	48
Şekil 4. 6 Kömür örneğine ait granülometri eğrisi.....	49
Şekil 4. 7 Deneylerde kullanılan kalorimetre cihazı.....	54
Şekil 4. 8 Deneylerde kullanılan kükürt tayin cihazı	55
Şekil 4. 9 Deneylerde kullanılan nem-kül-uçucu madde tayin cihazı (TGA)	57
Şekil 4. 10 Deneylerde kullanılan hidrolik pres	58
Şekil 4. 11 Briketlemede kullanılan silindirik kalıp	59
Şekil 4. 12 Miltan Müteahhitlik briketleme tesisi ekipmanları	59
Şekil 4. 13 Briketleme deneysel işlem aşamaları	60
Şekil 4. 14 Laboratuvar ölçekli briketleme işlemi.....	61
Şekil 4. 15 Tesiste üretilmiş yastık şeklindeki briketler	62
Şekil 4. 16 Aşınma sağlamlığı testinde kullanılan tambur.....	63
Şekil 4. 17 Kırılma sağlamlığı testinde kullanılan paralel levhalı pres	64
Şekil 4. 18 Düşme sağlamlığı testinde kullanılan cihaz	65
Şekil 5. 1 Vinas katkılı brikette farklı kireç miktarlarında kükürt oranlarının değişimi.....	68
Şekil 5. 2 Farklı vinas oranlarında yapılan briketlerin kuru bazdaki analiz değişimleri	73
Şekil 5. 3 Farklı vinas oranlarında yapılan briketlerin orjinal bazdaki analiz değişimleri	74
Şekil 5. 4 Melas katkılı brikette farklı kireç miktarlarında kükürt oranlarının değişimi	80
Şekil 5. 5 Farklı melas oranlarında yapılan briketlerin kuru bazdaki analiz değişimleri	83
Şekil 5. 6 Farklı melas oranlarında yapılan briketlerin orjinal bazdaki analiz değişimleri	84
Şekil 5. 7 Şlempe katkılı brikette farklı kireç miktarlarında kükürt oranlarının değişimi	91
Şekil 5. 8 Farklı şlempe oranlarında yapılan briketlerin kuru bazdaki analiz değişimleri	93

Şekil 5. 9	Farklı şlempe oranlarında yapılan briketlerin orjinal bazdaki analiz değişimleri	94
Şekil 5. 10	Hümkik asit katkılı brikette farklı kireç miktarlarında kükürt oranlarının değişimi	102
Şekil 5. 11	Farklı hümkik asit oranlarında yapılan briketlerin kuru bazdaki analiz değişimleri	104
Şekil 5. 12	Farklı hümkik asit oranlarında yapılan briketlerin orjinal bazdaki analiz değişimleri	105
Şekil 5. 13	%10 bağlayıcı içeren briketlerin kısa analizlerinin değişimi.....	111
Şekil 5. 14	%10 bağlayıcı içeren briketlerin alt ısı değerlerinin değişimi.....	112
Şekil 5. 15	%10 bağlayıcı içeren briketlerin aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı dağılımları	113
Şekil 5. 16	%12 bağlayıcı içeren briketlerin kısa analizlerinin değişimi.....	113
Şekil 5. 17	%12 bağlayıcı içeren briketlerin alt ısı değerlerinin değişimi.....	114
Şekil 5. 18	%12 bağlayıcı içeren briketlerin aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı dağılımları	115
Şekil 5. 19	%14 bağlayıcı içeren briketlerin kısa analizlerinin değişimi.....	116
Şekil 5. 20	%14 bağlayıcı içeren briketlerin alt ısı değerlerinin değişimi.....	117
Şekil 5. 21	%14 bağlayıcı içeren briketlerin aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı dağılımları	118
Şekil 5. 22	%16 bağlayıcı içeren briketlerin kısa analizlerinin değişimi.....	119
Şekil 5. 23	%16 bağlayıcı içeren briketlerin alt ısı değerlerinin değişimi.....	120
Şekil 5. 24	%16 bağlayıcı içeren briketlerin aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı dağılımları	122
Şekil 5. 25	%18 bağlayıcı içeren briketlerin kısa analizlerinin değişimi.....	123
Şekil 5. 26	%18 bağlayıcı içeren briketlerin alt ısı değerlerinin değişimi.....	123
Şekil 5. 27	%18 bağlayıcı içeren briketlerin aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı dağılımları	125
Şekil 5. 28	%20 bağlayıcı içeren briketlerin kısa analizlerinin değişimi.....	126
Şekil 5. 29	%20 bağlayıcı içeren briketlerin alt ısı değerlerinin değişimi.....	127
Şekil 5. 30	%20 bağlayıcı içeren briketlerin aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı dağılımları	128
Şekil 5. 31	Farklı bağlayıcılarla yapılan briketlerin kimyasal analizlerinin değişimi	129
Şekil 5. 32	Farklı bağlayıcılarla yapılan briketlerin aşınma sağlamlığı testlerinin değişimi	132
Şekil 5. 33	Farklı bağlayıcılarla yapılan briketlerin düşme sağlamlığı testlerinin değişimi	133
Şekil 5. 34	Farklı bağlayıcılarla yapılan briketlerin kırılma sağlamlığı testlerinin değişimi	133

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Uluslararası genel kömür sınıflandırılması.....7
Çizelge 2. 2	Bölgelere göre kesinleşmiş kömür rezervleri..... 10
Çizelge 3. 1	Kömür briketlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri28
Çizelge 4. 1	0-3 mm boyutundaki kömüre ait analiz sonuçları.....47
Çizelge 4. 2	Kömür örneğinin elementel analiz sonuçları..... 48
Çizelge 4. 3	Kömür örneğinin elek analiz sonuçları.....49
Çizelge 4. 4	Vinasa ait analiz sonuçları 50
Çizelge 4. 5	Melasa ait kimyasal analiz sonuçları..... 51
Çizelge 4. 6	Şlempeye ait kimyasal analiz sonuçları..... 52
Çizelge 4. 7	Hümik asit analiz sonuçları 52
Çizelge 4. 8	Söndürülmüş kirece ait analiz değerleri..... 53
Çizelge 4. 9	Kükürt analiz cihazı karakteristikleri56
Çizelge 4. 10	Briketleme koşulları ve özellikleri.....61
Çizelge 5. 1	Vinasla hazırlanan briketlerin karışım oranları.....67
Çizelge 5. 2	Vinas katkılı briketlerin farklı kireç oranlarındaki analiz sonuçları..... 67
Çizelge 5. 3	Vinas katkılı brikette kireç oranına bağlı olarak kükürt oranları değişimi 68
Çizelge 5. 4	Vinas kullanılarak elde edilen briketlerin analiz sonuçları69
Çizelge 5. 5	Vinas kullanılarak elde edilen briketlerin kükürt analiz sonuçları..... 72
Çizelge 5. 6	Farklı vinas oranlarındaki aşınma sağlamlığı deney sonuçları.....72
Çizelge 5. 7	%10 vinas kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları..... 75
Çizelge 5. 8	%14 vinas kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları..... 75
Çizelge 5. 9	%18 vinas kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları..... 76
Çizelge 5. 10	Farklı vinas oranlarındaki kırılma sağlamlığı deney sonuçları77
Çizelge 5. 11	Farklı vinas oranlarındaki düşme sağlamlığı deney sonuçları77
Çizelge 5. 12	Farklı vinas oranlarındaki briketlerin suya dayanım süreleri.....78
Çizelge 5. 13	Melasla hazırlanan briketlerin karışım oranları 78
Çizelge 5. 14	Melas katkılı briketlerin farklı kireç oranlarındaki analiz sonuçları..... 79
Çizelge 5. 15	Melas katkılı brikette kireç oranına bağlı olarak kükürt oranları değişimi..... 79
Çizelge 5. 16	Melas kullanılarak elde edilen briketlerin analiz sonuçları.....81
Çizelge 5. 17	Melas kullanılarak elde edilen briketlerin kükürt analiz sonuçları..... 85
Çizelge 5. 18	Farklı melas oranlarındaki aşınma sağlamlığı deney sonuçları..... 86

Çizelge 5. 19	%10 melas kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları	86
Çizelge 5. 20	%14 melas kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları	87
Çizelge 5. 21	%18 melas kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları	87
Çizelge 5. 22	Farklı melas oranlarındaki kırılma sağlamlığı deney sonuçları.....	88
Çizelge 5. 23	Farklı melas oranlarındaki düşme sağlamlığı deney sonuçları.....	88
Çizelge 5. 24	Farklı melas oranlarındaki briketlerin suya dayanım süreleri	89
Çizelge 5. 25	Şlempe ile hazırlanan briketlerin karışım oranları	89
Çizelge 5. 26	Şlempe katkılı briketlerin farklı kireç oranlarındaki analiz sonuçları	90
Çizelge 5. 27	Şlempe katkılı brikette kireç oranına bağlı olarak kükürt oranları değişimi	91
Çizelge 5. 28	Şlempe kullanılarak elde edilen briketlerin analiz sonuçları.....	92
Çizelge 5. 29	Şlempe kullanılarak elde edilen briketlerin kükürt analiz sonuçları.....	96
Çizelge 5. 30	Farklı şlempe oranlarındaki aşınma sağlamlığı deney sonuçları.....	97
Çizelge 5. 31	%10 şlempe kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları	97
Çizelge 5. 32	%14 şlempe kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları	98
Çizelge 5. 33	%18 şlempe kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları	98
Çizelge 5. 34	Farklı şlempe oranlarındaki briketlerin kırılma sağlamlığı deney sonuçları	99
Çizelge 5. 35	Farklı şlempe oranlarındaki briketlerin düşme sağlamlığı deney sonuçları	99
Çizelge 5. 36	Farklı şlempe oranlarındaki briketlerin suya dayanım süreleri.....	100
Çizelge 5. 37	Hümik asitle hazırlanan briketlerin karışım oranları.....	100
Çizelge 5. 38	Hümik asit katkılı briketlerin farklı kireç oranlarındaki analiz sonuçları	101
Çizelge 5. 39	Hümik asit katkılı brikette kireç oranına bağlı olarak kükürt oranları değişimi.....	101
Çizelge 5. 40	Hümik asit kullanılarak elde edilen briketlerin analiz sonuçları.....	103
Çizelge 5. 41	Hümik asit kullanılarak elde edilen briketlerin kükürt analiz sonuçları	106
Çizelge 5. 42	Farklı hümik asit oranlarındaki aşınma sağlamlığı deney sonuçları.....	107
Çizelge 5. 43	%10 hümik asit kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları.....	107
Çizelge 5. 44	%14 hümik asit kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları.....	108
Çizelge 5. 45	%18 hümik asit kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları.....	108
Çizelge 5. 46	Farklı hümik asit oranlarındaki kırılma sağlamlığı deney sonuçları.....	109
Çizelge 5. 47	Farklı hümik asit oranlarındaki düşme sağlamlığı deney sonuçları.....	109
Çizelge 5. 48	Farklı hümik asit oranlarındaki briketlerin suya dayanım süreleri.....	110
Çizelge 5. 49	%10 bağlayıcı içeren briketlerin kükürt oranları	112
Çizelge 5. 50	%12 bağlayıcı içeren briketlerin kükürt oranları	115

Çizelge 5. 51	%14 bağlayıcı içeren briketlerin kükürt oranları	117
Çizelge 5. 52	%16 bağlayıcı içeren briketlerin kükürt oranları	121
Çizelge 5. 53	%18 bağlayıcı içeren briketlerin kükürt oranları	124
Çizelge 5. 54	%20 bağlayıcı içeren briketlerin kükürt oranları	127
Çizelge 5. 55	Briketlemede kullanılan malzemelerin birim maliyetleri	134
Çizelge 5. 56	Farklı bağlayıcılarla üretilen briketlerin toplam maliyetleri	135
Çizelge 5. 57	Endüstriyel ölçekte üretilen briketlerin analiz sonuçları	136

**YENİKÖY LİNYİTLERİNİN VİNAS BAĞLAYICISI KULLANILARAK ÜRETİLEN
BRİKETLERİNİN DİĞER BAĞLAYICILARLA KIYASLANMASI**

Aylin BOZTEPE

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hanifi SARAÇ

Eş Danışman: Doç. Dr. Jale GÜLEN

Bu çalışmada, İstanbul Yeniköy bölgesine ait 0-3 mm parçacık boyutundaki linyit kömürü, farklı türde (vinas, melas, şlempe ve hümik asit) ve oranda (%10 ve %20 arasında) bağlayıcılar kullanılarak briket kömür haline getirilmiş, elde edilen ürünlere kimyasal analizler (kısa analiz, ısı değer analizi ve kükürt analizi) ve mekanik dayanım testleri (aşınma sağlamlığı, düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve suya dayanım) uygulanarak, TS 12055 standartına uygunlukları araştırılmıştır. Laboratuvar ölçekli bu çalışmalardan yola çıkılarak, endüstriyel ölçekli briketleme işlemi için optimum koşullar saptanmıştır.

Briketleme prosesinde kullanılan bağlayıcı ve/veya katkı maddelerinin ve bu maddelerin karışımdaki oranlarının değiştirilmesi, kimyasal analiz ve mekanik mukavemet testlerinin sonuçlarını değiştirmiştir. Kömürün yapısında yer alan ve hem çevre hem de insan sağlığı açısından tehdit oluşturan yanar kükürt oranı, katkı maddesi olarak eklenen kireç ile kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Buna göre, briketlerdeki vinas ve melas oranı %18 ve üzerindeyken, standartta belirtilen %1 (kuru bazda) limiti sağlanırken, hümik asit ve şlempe katkılı briketlerde bu başarı sağlanamamıştır. Kirecin artan oranlarda (%1, %2 ve %3) kullanılması yanar kükürt oranını azaltırken, kül oranında bir miktar artış meydana getirmiştir. Ancak söz konusu artış, briket kalitesini olumsuz etkileyecek düzeyde gerçekleşmemiştir.

Briketlerin nem oranları; hammadde olarak kullanılan toz kömüre ve bağlayıcılara uygulanan ön ısıtma işlemleriyle kontrol altında tutulmuş ve bu şekilde ısı değerlerinde meydana gelmesi olası düşüşler engellenmeye çalışılmıştır. Briketlerin yanma davranışlarını etkileyen kül analizleri; bağlama etkinliği şlempe ve hümkik asite oranla daha iyi olan vinas ve melas ile hazırlanan briketlerde, diğer briketlere kıyasla düşük değerler almıştır. Yapılan çalışmalar, vinas, melas ve şlempe katkılı briketlerin, tüm bağlayıcı oranlarında, standartın öngördüğü 4000 cal/g (orjinal bazda) üzerinde alt ısı değere sahip olduklarını ve piyasaya arzlarında engel bulunmadığını göstermiştir. Ancak, %20 hümkik asit ile hazırlanan briketin yüksek nem değeri nedeniyle bu koşulu sağlamadığı ortaya konulmuştur.

Briketlerin fiziksel testleri, genel olarak artan bağlayıcı oranıyla artış göstermiştir. Aşınma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı testlerinde, vinas ve melas katkılı briketler iyi sonuçlar verirken, şlempe ve özellikle hümkik asit katkılı briketler ile olumsuz sonuçlar alınmıştır. Bu briketler içerisinde, standartta yer alan düşme ve aşınma sağlamlığı kriterini sağlayan tek bağlayıcı, vinas olmuştur. Briketlerin kırılma sağlamlığı değerlerinin ise standarttaki limiti karşılayabilecek kadar yüksek olmadığı belirlenmiştir. Bir diğer mukavemet testi olan suya dayanım testinde ise; tümü organik bazlı bağlayıcılar ile hazırlanan briketlerin hiçbirinin, suya dayanımının bulunmadığı saptanmıştır. Bu sebeple piyasaya arzlarında lamineli torbaların kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

Endüstriyel ölçekli briketleme prosesi için uygun koşullar belirlenirken, analiz parametrelerinin tümü, fiziksel testler ve maliyet kıstasları göz önünde bulundurulmuş, en uygun briket bağlayıcısı vinas, kullanılacak oran ise %18 olarak saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Linyit, briketleme, bağlayıcı, yanar kükürt, söndürülmüş kireç, aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı, düşme sağlamlığı

**COMPARISON OF BRIQUETTES OF YENIKÖY LIGNITES PRODUCED BY
USING VINASSE BINDER WITH OTHER BINDERS**

Aylin BOZTEPE

Department of Chemical Engineering

Ph.D. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Hanifi SARAÇ

Co-Adviser: Assoc. Prof. Dr. Jale GÜLEN

In this study, a lignite sample with a particle size of 0-3 mm obtained from Yeniköy (İstanbul) area was briquetted by using different binder materials (vinasse from yeast industry, molasses, vinasse from sugar industry and humic acid) and binder ratios (between 10% and 20%). Chemical analysis (proximate analysis, calorific value analysis and sulphur analysis) and mechanical strength tests (abrasion resistance, drop shatter resistance, compressive strength and water resistance) were applied to the gained products and conformity with TS 12055 standard was investigated. By using these laboratory scale study, optimum operating conditions for industrial scale briquetting process were determined.

Changing binder and/or additives used for briquetting process and proportions of these materials in the mixture affected the results of chemical analysis and mechanical strength tests. Burnable sulphur which is found in the structure of the coal and threatens both environment and human health was tried to take under control with the lime added as an additive. While the ratio of vinasse and molasses were 18% and over, the limit specified in the standard (1% on dry basis) was achieved, for the humic acid and vinasse (from sugar industry) added briquettes that success could not be achieved. Increasing ratios of lime (1%, 2% and 3%) reduced burnable sulphur but an

increase in the amount of ash content occurred. However, the rise did not happen at a level that affect the quality of the briquettes negatively.

The moisture of the briquettes were kept under control with the preheating process applied to the binders and coal dust used as raw material. By this way, possible decreases at the calorific values were tried to prevent. Ash analysis- affecting the combustion behaviour of the briquettes- had low values for the briquettes prepared with vinasse and molasses which have better binding activity than humic acid and vinasse (sugar industry) compared to other briquettes. The studies showed that briquettes added vinasse (from yeast industry), molasses and vinasse (from sugar industry) for all binder ratios had a lower heating value of over 4000 cal/g (on original basis) which was specified in the standard and there was no obstacle to supply to the market. On the other hand, briquettes prepared with 20% humic acid couldn't provide that limit because of high moisture content.

Physical tests of the briquettes generally increased with the increasing binder ratio. While vinasse and molasses added briquettes gave good results for abrasion resistance and drop shatter resistance, negative results were taken with vinasse (sugar industry) and especially humic acid added briquettes. The only briquette that satisfy the drop shatter and abrasion resistance criteria in the standard was vinasse from yeast industry. It was also determined that compressive strength values of the briquettes were not enough high to meet the limit specified in the standard. An other strength test, the water resistance test; it was found that none of the briquettes which were prepared with organic based binders were water resistant. Therefore, it should be noted that the use of nylon bags were necessary before being sent on the market.

All of the analysis parameters, physical tests and cost criteria were taken into account during determining the appropriate conditions for industrial-scale briquetting process. It was found that the most appropriate briquette binder was vinasse (from yeast industry) with a ratio of 18%.

Keywords: Lignite, briquetting, binder, burnable sulphur, slaked lime, abrasion resistance, compressive strength, drop shatter resistance

1.1 Literatür Özeti

Sanayinin, üretimin, gelişmenin ve kalkınmanın en temel girdisi olan enerji; gerek Dünyada gerekse ülkemizde, ekonomik, politik ve toplumsal açıdan çok önemli bir yer tutmaktadır. Enerjiye olan talep, nüfus artışı başta olmak üzere, kentsel gelişim ve endüstrileşme gibi etkenlerden ötürü günden güne artmaktadır. Bu talebi karşılamada petrol, doğalgaz, rüzgar, güneş ve su gibi enerji kaynakları yetersiz kalırken, fosil yakıtlardan olan kömür, sahip olduğu potansiyeli ile en önemli enerji kaynağı olma vasfını sürdürmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre; Dünya enerji ihtiyacının oldukça yüksek oranını (%31,5) karşılayan petrolün 54 yıl, %28,8'lik bir kısmını karşılayan kömürün 142 yıl, %21,3'ünü karşılayan doğalgazın ise 61 yıllık rezerv kullanım süresine sahip olduğu belirlenmiştir.

Kömür; kaynaklarının çeşitli ve büyük olması, diğer yakıtlara oranla maliyetinin düşük olması, taşıma-depolama kolaylığı ve kullanım basitliği gibi önemli üstünlüklere sahiptir. Kömürün bu konumu, gelecekte de sürdürülebilir kalkınmada kayda değer bir rol oynamaya devam edeceğinin göstergesidir. Enerji üretiminin, tüketimi karşılamada yetersiz kalması nedeniyle başlayan enerji ithalatı, ülkemizi bu alanda dışa bağımlı bir hale getirmiştir. Bu bağlamda, kendi öz kaynaklarımızdan olan kömürün akılcı biçimde kullanılması; ülkemizin kalkınması ve sürdürülebilir enerji arzının sağlanabilmesi açısından önem taşımaktadır.

Türkiye kömür rezervleri içinde en büyük pay 8,4 milyar tonluk rezervle genç kömür olarak nitelendirilen linyitlerimize aittir. Ülkemizde nem, kül ve kükürt içeriği yüksek,

ısı değeri düşük linyitlerin yanı sıra nispeten kaliteli olarak nitelendirilebilecek linyitler de mevcuttur. Ancak bu linyitlerin rezervlerinin azalması düşük kaliteli olanları da değerlendirmeyi zorunlu hale getirmiştir.

Ülkemiz linyitleri kırılgan bir yapıya sahip olduğu için üretim, taşıma ve depolama aşamalarında kolaylıkla toz haline gelmektedir. Bu tozlar yakma sistemlerinde tam olarak yakılamamakta, yanmamış tanecikler bacadan çıkmaktadır dolayısıyla hem çevre kirliliği meydana gelmekte hem de verim azalmaktadır. Düşük kaliteli bu linyitlerin değerlendirilmesinde ve olumsuz yönlerinin azaltılmasında kullanılabilecek en uygun yöntem briketlemedir.

Briketleme; toz haldeki kömürün, belli katkı maddeleri ile karıştırılarak, bir kalıp içerisinde preslenmesi sonucu silindirik, kübik, yastık veya yumurta şekilli, sağlam ve kaliteli bir yakıt haline dönüştürülmesi işlemidir. Böylece yeterli ısı değere sahip toz kömürler değerlendirilmekte, çevre kirliliğinin önüne geçilmekte ve piyasaya kaliteli yakıt arzı sağlanmaktadır. Bu kapsamda, İstanbul Yeniköy kömür işletmesinden elde edilen toz kömür, farklı türlerde ve oranlarda bağlayıcılar kullanılmak suretiyle briketleme yöntemiyle değerlendirilmiş, çevreye zararlı etkisini minimuma indirmek, fiziksel dayanım ve kimyasal analiz değerleri açısından uygun seviyeleri yakalamak üzere araştırmalar yapılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Ülkemiz enerji kaynakları içinde potansiyel açısından önemli bir paya sahip olan linyit kömürünün değerlendirilmesini öngören bu çalışmada, sanayide ar-ge ve inovasyon alanındaki ihtiyacın, üniversite bilimselliği kapsamında giderilmesi için teorik ve deneysel çalışmalar yürütülmüş, standartlara uygun ve düşük maliyetli ürün oluşumu için gerekli koşullar belirlenmiştir. Bu kapsamda, Yeniköy'de bulunan kömür işletmesinden damarlar bazında numuneler alınmış ve bu numuneler analizler ile sınıflandırılmıştır. Uygunluğu belirlenmiş kömür örneği, farklı türde (vinas, melas, hümik asit ve şlempe) ve oranlarda (%10-%20) bağlayıcılar kullanılarak ve içeriğindeki yanar kükürt oranını, hava kirliliğine sebep olmayacak seviyeye getirmek üzere kireç eklenerek, briket haline getirilmiştir. Briketlerin standartlara uygunluğunu saptamak üzere; aşınma sağlamlığı, düşme sağlamlığı ve kırılma sağlamlığı gibi mukavemet

testleri ve kimyasal analizler (nem, kül ve kükürt oranı, alt ısı değeri) uygulanmış, briketleme işlemi için uygun formülasyon oluşturulmaya çalışılmıştır.

1.3 Hipotez

Toz haldeki linyit kömürünün, katkı malzemeleriyle karıştırılarak, çevreye daha az zarar verecek ve verimli şekilde değerlendirilmesi açısından ve tüketiciye yakma sistemine uygun yakıt verilebilmesini sağlaması için briketleme prosesinin kullanılmasını öngören bu çalışmada; öncelikle, briketlerin parçalanma ve ufalanmaya karşı dirençli olmasını sağlayarak, dayanıklı ve kaliteli briket üretimine yardımcı olan bağlayıcılar seçilmiş, bu bağlayıcıların miktarlarındaki değişimin briketleme performansını ne şekilde etkilediği araştırılmıştır.

Briketleme çalışmalarında katkı malzemesi kullanılması briket özelliklerini olumlu veya olumsuz olarak etkilemektedir. Bağlama özelliği iyi, suda çözünmeyen, düşük maliyetli, tercihen kokusuz, yanma esnasında çevre ve insan sağlığına zararlı bileşikler oluşturmayacak bağlayıcılar, kaliteli ve standartların öngördüğü briketlerin üretimi için elzemdir. Katkı maddeli briketleme teknolojisinin sağladığı bir avantaj da, kömürün yanmasıyla açığa çıkan ve çevre kirliliğine sebep olan kükürt oksitlerin kireç ve benzeri adsorbent maddelerle külde tutulabilmesidir. Kirecin, kömürün inorganik matrisinde kül oranı artışına da sebep olabileceği göz önüne alındığında, briketlere uygun oranda katılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde eklenen organik katkı malzemeleri de briketin yakıt özelliklerini (nem, kül, alt ısı değeri gibi) ve mukavemetini etkilemektedir. Dolayısıyla, briketleme işlemi için gerekli parametreler ve çalışma aralıkları en iyi verimi elde edecek şekilde belirlenmelidir.

BÖLÜM 2

KÖMÜR

Enerji kaynakları içerisinde önemli bir yer tutan kömür, organik ve inorganik maddeler içeren, homojen olmayan ve genellikle sedimanter kayalar içerisinde sıcaklık, basınç ve bozuşma gibi etkiler sebebiyle değişime uğrayan fosil bir yakıttır [1], [2]. Lignoselülozik bitki parçalarından meydana gelen kömür içerisinde, büyük oranda karbon, az miktarda hidrojen, oksijen, kükürt ve azot elementleri bulunmaktadır [3]. Kömür, petrol gibi yoğun olarak karbon ve hidrojenden oluşmasına karşın petrole oranla daha düşük miktarda hidrojen ve daha yüksek miktarda karbon içerdiği için katı halde bulunmaktadır [4].

Dünya’da 50’den fazla ülkede üretilmekte olan kömür, kullanım, depolanma ve nakliye açısından diğer fosil yakıtlara (petrol ve doğalgaz) oranla daha emniyetlidir. Ayrıca kömür rezervleri diğer fosil yakıtlar gibi dünyanın belli bir bölümünde değil, tüm dünyada yaygın şekilde bulunmaktadır [5].

2.1 Kömürün Oluşumu ve Sınıflandırılması

Kömürleşme süreci, nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde içeriklerinin yanı sıra bitki kalıntılarının doğası, yer altında gömülme, jeolojik ve petrografik şartlara bağlı olarak çok farklılık göstermektedir. Doğada köken, yapı, doku ve bileşenleri açısından birbirinin aynı iki kömüre rastlamak nerdeyse imkansızdır [6].

Kömür, bugün için tekrarlanması mümkün olmayan çok özel şartların biraraya gelmesiyle oluşmuştur ve bu oluşumda her şeyden önce büyük oranda bitkiye gereksinim duyulmaktadır. Farklı türde ve çok sayıda bitkiden meydana gelen kömür, bu sebeple heterojen bir yapı oluşturmaktadır. Kömür oluşumunda rol oynayan önemli bir diğer etken de iklim şartlarıdır. Yeryüzünde kilometrelerce alana yayılmış kömür kaynaklarının bulunuyor olmasına neden olarak, bu geniş alanlar boyunca iklimin değişmemiş olması gösterilmektedir [7].

Kömür oluşumunu açıklayan 2 teori bulunmaktadır:

- **Allokton oluşum teorisi (Deltalar teorisi):** Bitki atıklarının, nehirler ile göl ve denizlerin oluşturduğu bataklık bölgelerine taşınarak çökmesi sonucu kömürün oluştuğunu varsayan allokton teorisi; mevcut kömür yataklarının ancak bir kısmının oluşumunu açıklayabilmektedir.

- **Otokton oluşum teorisi:** Geniş yayımlı ve kalın damarlı kömür havzalarının oluşumunu açıklayan bir teoridir. Otokton oluşum teorisine göre; bitki atıkları bir taşınma olayı olmaksızın yerinde kömürleşmeye uğramaktadır. Sulu ortamda havanın oksijeni ile teması kesilen bitkisel atıklar mikroskobik canlıların etkisiyle hümkleşmeye uğramaktadır. Mantar ve bakteri gibi bu anaerobik mikroorganizmalar, oksijen ile teması kesilen bitkilerin içerdikleri oksijeni alarak, hümik asitleri ve türevlerini oluşturmaktadırlar. Çökme hızına ve suların havalanma oranına bağlı olarak değişen, belirli bir derinlikten sonra mikroorganizmaların meydana getirdiği bu tepkimeler; hümik asit oranının artması, buna bağlı olarak ortamın asitliğinin artmasıyla mikroorganizmaların yaşayamaması nedeniyle durur. Hümkleşmeden sonra turbalaşma evresi başlar; bunun için, yeni bir örtü tabakasının çürümekte olan bitkileri örtmesi ve oksijen ile temasın tamamen kesilmesi gereklidir [8].

Bitkisel maddeler ya da bitki parçaları uygun bataklık ortamlarda birikip, çöker ve jeolojik işlevlerle birlikte yer altına gömülürler. Bu organik kütleler yerin altında gömüldükten sonra, önceleri gömülmenin oluşturduğu basınç şartları, daha sonra da ortamın ısı değişimlerinden etkilenirler. Bu etkilenme sonucu organik maddenin bünyesinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Önceleri turba olarak adlandırılan ve kömürlerin ataları olarak bilinen bu organik maddeler, zamanla daha

koyu renklere ve daha sert yapıya sahip olurlar. Sıcaklık ve basınç şartlarının bu kütlelere etkimesi sonucu, bu ortamdan sırasıyla; su ve su buharı, karbondioksit, oksijen ve son aşamada hidrojen uzaklaşır. Bu süreçte ideal şartlar ve ortamın ısısal şartlarının uzun bir dönem içerisinde (binlerce yıl) baskın olması ve artması gerekmektedir. Yerin ısısı arttıkça önceleri turba olarak adlandırılan ama kömür sayılmayan bu organik madde, önce linyit daha sonra alt bitümlü kömür, sonra taşkömürü, antrasit ve en sonunda şartlar uygun olursa grafit'e dönüşür. Bu ilerleyen olgunlaşma sürecine *Kömürleşme (Coalification)*, her seviyeye de *kömürleşme derecesi (Rank)* denmektedir [9].

Kömürleşmeyi etkileyen parametreler; sıcaklık, süre, basınç, jeolojik yapının özelliği, radyoaktivite, tektonik olaylar ve kontakt metamorfizmadır [10].

Kömürleşme süreci ve yataklanma, nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde içeriklerinin yanı sıra jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler yönünden kömürler farklılık gösterirler. Bu durum birçok ülkede kömürlerin birbirine benzer özellikler ve yakın değerler temelinde sınıflandırılmasını zorunlu kılmıştır.

Kömür üretimi, kullanımı ve teknolojisinde ileri durumdaki ülkeler öncelikle kendi kömürlerinin özelliklerine göre bir sınıflama yaptıkları gibi uluslararası genel bir sınıflama için ortak standartlar da geliştirmişlerdir [11].

Farklı türde kömürlerin kullanım amaçlarına göre uluslararası sınıflandırılmasında; ilk olarak 1957'de çeşitli ülkelere üyelerin oluşturduğu Uluslararası Kömür Kurulu'nca birçok ülkeden temin edilen numuneler üzerinde yapılan çalışmalar, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından da desteklenerek genel bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflamada; ısı değeri, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri baz alınmış, sert (taşkömürü) ve kahverengi (alt-bitümlü ve linyit) kömürler olarak iki sınıfa ayrılmıştır.

a) Sert kömürler; nemli ve külsüz bazda 5700 kcal/kg'ın üzerinde ısı değere sahiptir.

b) Kahverengi kömürler; nemli ve külsüz bazda 5700 kcal/kg'ın altında ısı değere sahiptir. Bu kömürler en çok termik santrallerde elektrik üretimi amaçlı kullanılmaktadır [12], [13].

Çizelge 2. 1 Uluslararası genel kömür sınıflandırılması [6]

A) Sert Kömürler	B) Kahverengi Kömürler
1) Koklaşabilir Kömürler (Yüksek fırınlarda kullanım için kok üretimine uygun kalitede)	1) Alt Bitümlü Kömürler (4165-5700 kcal/kg arası ısı değeri, topaklaşma özelliği göstermeyen)
2) Koklaşmayan Kömürler a) Bitümlü Kömürler b) Antrasit	2) Linyit (4165 kcal/kg'ın altında ısı değeri, topaklaşma özelliği göstermeyen)

2.2 Kömür Kullanım Alanları

Kömürün kullanım alanları oldukça çeşitli olup, sanayi toplumlarının tümünde önemli bir rolü vardır. Günümüzde kömür daha çok enerji kaynağı olarak tüketilirken, gelişmiş ülkelerde özellikle kimya sanayinde, boyadan ilaca, gübreden plastiğe kadar çok geniş bir alanda, önemli bir hammadde olarak yer almaktadır [14].

Ülkemizdeki linyit üretimi; Enerji Sektörü (Termik Santral), Sanayi Sektörü ve Isınma (teshin) Sektörü olmak üzere 3 ana sektörün taleplerinin karşılanmasına yönelik olarak gerçekleştirilmektedir. Linyit tüketiminde en büyük pay % 76 ile termik santrallere ait olup, bu oranlar sanayide % 10, ısınma sektöründe ise % 14'tür [15].

Enerji Sektörü (Termik Santral):

Kamuya ait linyit sahaları için yaratılan projelerin yıllık toplam tüvenan üretim kapasitesi 78,735 milyon ton'dur. TKİ'nin tüvenan bazda proje kapasitesi 46,150 milyon ton, satılabilir linyit bazında proje kapasitesi 41 milyon ton'dur. Bu satılabilir kapasitenin 34,035 milyon tonu 4209 MW kurulu gücündeki termik santrallere, 6,73 milyon tonu ise ısınma ve sanayi sektörüne yöneliktir. Ayrıca, EÜAŞ Genel Müdürlüğü termik santrallara vermiş olduğu 23,5 milyon ton/yıl linyit miktarını, Elbistan Termik Santrali ilave ünitelerinin devreye girmesiyle 2010 yılından itibaren kademeli olarak arttırarak 40 milyon ton/yıl'a çıkarmayı programlamıştır. Türkiye'nin ekonomik yapılanmasında önemli bir olumsuzluk yaşanmaması durumunda linyitin enerji sektöründe payının %30'un üzerine çıkması beklenmektedir. Elektrik üretiminde

maliyet açısından hidrolikten sonra ikinci sırada linyitin yer alması, ayrıca son yıllarda yerli kaynak üretim ve kullanımına ağırlık verilmesi, gelecek yıllarda linyitin elektrik üretimindeki payını arttıracığı izlenimini vermektedir [15].

Çimento Sektörü:

Çimento fabrikaları döner fırınlarında, klinker pişirilmesinde, yakıt olarak fuel oil, kömür, doğalgaz, petrokok, taşkömürü veya bunların muhtelif oranlarda karışımı kullanılmaktadır. Çimento klinkerinin döner fırınlarda pişirilebilmesi için, fırında teorik olarak 1350-1400°C sıcaklığı sağlayabilecek yakıt gerekmektedir. Yakıt olarak düşük kalorili kömürlerin de kullanılması mümkün olsa da fabrikalarca kuru bazda 6000 kcal/kg'lık kömür (orjinal bazda 5000 kcal/kg) tercih edilmektedir. Bunun başlıca nedenleri; yüksek kalorili kömürde daha az kömür öğütürük öğütme maliyetinin düşmesi, daha az stok ihtiyacı ve en önemlisi fırın kapasitesinin yüksek olmasıdır. Kalori değeri orjinal bazda 5000 kcal/kg'ın altına indiğinde, verim düşüklüğüne yol açmamak için, daha yüksek kalorili yakıtlarla paçal yapılarak kalori yükseltilmektedir [16].

Çimento fabrikalarında kullanılan petrokokun ısı değeri; 7500 kcal/kg, ithal taşkömürün; 6300 kcal/kg, yerli taşkömürün; 6000 kcal/kg, yerli linyitin ise 3500-4500 kcal/kg'dır [15].

Şeker Sektörü:

Kömürün kullanıldığı bir diğer sektör de şeker sektörüdür. Yakıt olarak kömür kullanan şeker fabrikaları, kalori değeri düşük (2200-3800 kcal/kg) ve yüksek (4000-4500 kcal/kg ve üzeri) olmak üzere iki türde kömür tercih etmektedir. Bu fabrikaların yıllık linyit ihtiyaçları 900 bin ton dolayındadır [15].

Toprak Sektörü:

Ülkemizde toprak sanayinde kullanılan yakıt, kalorisi 3000-4000 kcal/kg aralığında değişim gösteren linyittir. Düşük kaliteli olarak nitelendirilebilecek bu kömürler kentlerde hava kirliliğine sebep olabilmektedir. Kaliteli kömür veya farklı bir yakıt kullanımı maliyeti artıracığı için çok fazla tercih edilmemektedir [17], [18].

Bu sektör için linyit tüketim miktarı yıllara göre farklılık göstermekle birlikte 3 milyon ton/yıl civarındadır. Ancak sektörün beklentisini karşılayacak nitelikte kömür

hazırlanması durumunda bu miktarın 4 milyon ton/yıl'a yükselmesi beklenmektedir [18].

Isınma Sektörü:

Ülkemizin ısınma sektöründeki kömür ihtiyacı yıllara göre artış göstermektedir. Bu ihtiyacın 2008 yılı itibarı ile 17 milyon ton dolayında olduğu belirlenmiştir. Bu kömür ihtiyacının yaklaşık yarısı ithalat yoluyla, diğer yarısı ise TKİ ve diğer yerli kömür üreticilerinin katkılarıyla karşılanmaktadır [15].

70'li yıllarda %10 olan, ısınma amaçlı kömür kullanım oranı giderek azalmış, özellikle 80'li yılların ikinci yarısından itibaren doğalgazın giderek yaygınlaşması ile günümüzde %3'lere kadar düşüş göstermiştir. Bu kapsamda linyitin ısınma sektöründeki pazar payını koruyabilmesi; kömür iyileştirilmesine yönelik tesislerin sayısının ve kalitesinin arttırılması, çevre kriterlerine uygun kömürlerin hazırlanması ve piyasa koşullarında yapılacak bir fiyatlandırma ile ithal kömürle rekabeti sürdürmesi ile mümkün olacaktır [15], [19].

2.3 Dünyada Linyit Kömürü

Kömür 18. yüzyıl ortalarında İngiltere'de sanayi devriminin başlamasına paralel olarak dünya ekonomisinde kendine bir yer edinmiştir. Buhar gücünün ulaşım ve sanayide kullanılmaya başlanmasıyla bu gücü elde etmede başlıca tüketim maddesi olmuş, dünya nüfusunun artmasıyla birlikte artan elektrik ihtiyacının karşılanması ve ısınmadaki rolü ile önemini gittikçe arttırmıştır. Sanayi devriminin gerçekleşmesinde ana faktör olan ve önemini günümüzde de koruyan kömürü yeterince değerlendiren ülkeler bugünün gelişmiş ülkeleri durumundadır [15].

Yeni yüzyılın ilk 12 yılındaki en dikkat çekici gelişme, kömürün toplam enerji arzı içerisindeki payına ilişkindir. Söz konusu 12 yılda petrolün payı %36,4'den %31,4'e, nükleerın payı %6,7'den %4,8'e düşerken, doğalgazın payı sadece 0,7 puanlık artışla %20,6'dan %21,3'e yükselmiş, buna karşın kömürün toplam içindeki payı 5,6 puan artışla %23,4'den %29 düzeyine çıkmıştır. Dünyada en fazla rezerve sahip olan ve belirli bir bölgede yoğunlaşmamış bir enerji kaynağı olan kömür, önümüzdeki yıllarda da önemini korumaya devam edecektir.

BP'nin yayınlamış olduğu dünya kömür rezerv bilgisine göre; yaklaşık 892 milyar ton kesinleşmiş kömür rezervi (Çizelge 2.2) bulunmaktadır. Bu rezervin %57,1'ine karşılık gelen 509 milyar ton kömür ABD, Rusya ve Çin'de bulunmaktadır. 2012 yılbaşı itibariyle 201 milyar ton olan Dünya ekonomik üretilebilir linyit rezervlerinin, en önemli payı %20 ve 40,6 milyar ton ile Almanya'da yer almaktadır. Avustralya'nın 37 milyar ton ile %19, ABD'nin 30 milyar ton ile %16, Çin'in 18,6 milyar ton ile %9,5, Sırbistan'ın 13,4 milyar ton ile %7, Kazakistan'ın 12,1 milyar ton ile %6, Rusya'nın 10,4 milyar ton ile %5, Türkiye'nin ise 8,4 milyar ton ile %4 payı vardır.

Dünya kömür üretimi incelendiğinde; 2013 yılında toplam 7,9 milyar ton üretim gerçekleşmiş olup, bu üretimin %47,4'üne denk gelen 3,7 milyar ton üretimi Çin tek başına yapmış ve bu ülkeyi sırasıyla ABD, Avustralya ve Hindistan izlemiştir. ABD; 893 milyon ton, Hindistan; 605 milyon ton ve Avustralya; 478 milyon ton üretim yapmışlardır [20], [21], [22].

Çizelge 2. 2 Bölgelere göre kesinleşmiş kömür rezervleri [20]

BÖLGE	Antrasit ve Bitüm (Taşkömürü) (Milyon ton)	Altbitüm ve Linyit (Milyon ton)	Toplam (Milyon ton)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
Avrupa ve Avrasya	92.557	217.981	310.538	34,8
Asya Pasifik	157.803	130.525	288.328	32,3
Kuzey Amerika	112.835	132.253	245.088	27,6
Ortadoğu ve Afrika	32.722	214	32.936	3,7
Güney ve Orta Amerika	7.282	7.359	14.641	1,6
Dünya Toplamı	403.199	488.332	891.531	100

2013 yılı küresel kömür üretimi verileri, 14 yıl öncesinden bugüne kadar %74 oranında bir artış olduğunu göstermektedir. Aynı dönemde buhar kömürü üretimindeki artış oranı %87 ve koklaşabilir kömür üretimindeki artış oranı ise %109 düzeyinde olmuştur. Linyit üretimindeki artış ise %3 oranında kalmıştır. 2013 yılında dünya linyit üretimi bir önceki yıla göre %5,5 oranında azalarak 840 milyon ton olmuştur. Bu azalma oranları; Türkiye'de %15,6, Yunanistan'da %14,9, Avustralya'da %12,3, Çek Cumhuriyeti'nde %7,1 ve Rusya'da %5,4 düzeyindedir [21].

Dünya kömür tüketimine bakıldığında; son otuz yılda iki katından fazla artarak 2013'te 7.876 milyon ton düzeyine yükseldiği görülmektedir. Tüketim artışı büyük ölçüde Çin'in talebinden kaynaklanmaktadır. Diğer önemli kömür tüketicileri; sırasıyla ABD (%10,7), Hindistan (%10), Almanya (%3,1), Rusya (%3), Japonya (%2,5), Güney Afrika Cumhuriyeti (%2,4), Polonya (%1,8), Güney Kore (%1,6) ve Avustralya (%1,5) şeklindedir. Türkiye'nin 2013 yılı dünya kömür tüketimi içindeki payı ise 83,4 milyon ton ile %1,1 düzeyindedir [21].

2.4 Türkiye'de Linyit Kömürü

Türkiye'de kömür genel olarak linyit ve taşkömürü başlıkları altında değerlendirilmekte olup, taşkömürü rezervleri TTK tarafından, linyit rezervlerimiz ise Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) ve özel sektör tarafından işletilmektedir. Taşkömürlerinin tamamı, linyitlerin ise %88'i kamuya ait ruhsat sınırları içinde bulunmaktadır.

Ülkemizde, çok sınırlı doğalgaz ve petrol rezervlerine karşın, 512 milyon tonu görünür olmak üzere, yaklaşık 1,3 milyar ton taşkömürü ve 13 milyar tonu görünür rezerv niteliğinde toplam 14 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır [22]. Linyit rezervlerimizin çoğunluğu 1976-1990 yılları arasında bulunmuştur. Bu dönemden sonra kapsamlı rezerv geliştirme etüt ve sondajları, 2005-2008 yılları arasındaki linyit arama çalışmalarıdır [23].

Enerjide dışa bağımlılığımızın giderek artması ve bunun da yüksek maliyetli olması, yerli kaynaklara daha fazla yönelmememizi gerektirmiştir. Bu anlayışla "Linyit Rezervlerimizin Geliştirilmesi ve Yeni Sahalarda Linyit Aranması" projesi TKİ koordinatörlüğünde, teknik olarak MTA'nın öncülüğünde ve sorumluluğunda, ETİ Maden, TPAO, EÜAŞ, TTK ve DSİ'nin katılımı ile 2005 yılında başlatılmıştır. Proje ile başta MTA ve TKİ arşivlerindeki linyit arama raporları olmak üzere, diğer kuruluşların kömürle ilgili verileri değerlendirilerek araştırılacak alanlar belirlenmiştir. Bu projeler çerçevesinde linyit havzalarında yapılacak jeolojik ve jeofizik etütler, sondajlı aramalar, su, petrol, doğalgaz ve bor gibi farklı amaçlarla yapılmış ve yapılacak olan sondajlardan elde edilen loglar üzerinde yapılacak geçmişe dönük analizler yardımı ile yeni rezervlerin belirlenmesine çalışılacaktır. 2005-2010 yıllarını kapsayan 6 yıllık dönem

içinde yaklaşık 30 000 km² etüt, 170 000 m sondaj yapılması planlanmıştır. Daha sonra bu projenin kapsamı genişletilmiş; MTA Genel Müdürlüğü koordinatörlüğünde “Türkiye Maden ve Jeotermal Kaynak Rezervlerinin Geliştirilmesi ve Yeni Sahaların Bulunması Projesi” ne dönüştürülmüştür. Çalışmalar bu kapsamda sürdürülmeye devam edilmektedir [23].

Bu çalışmalar ile Afşin-Elbistan linyit havzası dışında Trakya havzasında, Manisa-Soma havzasında, Konya-Karapınar havzasında, Afyon-Dinar, Eskişehir-Alpu, Kırklareli-Vize de yeni kömür rezervleri bulunmuş, bilinen sahalarda ise rezerv artışları sağlanmıştır. Yapılan çalışmalarda, en büyük rezerv artışı Elbistan havzasında olmuştur. Yapılan etüt ve sondajlardan önce 3,3 milyar ton olan rezerv yaklaşık 1 milyar ton artarak 4,4 milyar tona yükselmiştir. Ancak etüt ve sondaj yapılmayan Elbistan havzasının ortasındaki Çöllolar ile havza kuzeyinde 2005 yılından sonra yapılan etütlerle tespit edilen kömür yoğunluğuna göre yeniden değerlendirme yapılmamıştır. TKİ’nin havzanın tamamında 2000 yılında yaptığı değerlendirmelerin bu kesimlerdeki değerleri dikkate alındığında Havzanın görünür rezervinin 5 milyar tondan fazla olduğu anlaşılmakta olup bu değer rezerv tablosuna yansıtılmamıştır. Bunun dışında MTA’nın yaptığı etüt ve sondajlarla Afşin-Elbistan’da büyük havzanın yakınında 515.000 bin ton, Konya Karapınar’da 1.832.816 bin ton ile Trakya ve Soma havzalarındaki artışlara ilave olarak rezerv çalışmaları devam eden havzalardan, Afyon Dinar’da 912.429 bin ton, Eskişehir Alpu’da 902.000 bin ton, Kırklareli-Vize’de 135.929 bin ton olmak üzere 2013 itibarıyla, Türkiye toplam linyit rezervi 14 milyar tona ulaşmıştır [22].

Türkiye linyit rezervleri toplamının yüzde on ikisine sahip olan özel sektör sorumluluğunda 350 adetten fazla linyit rezervleri ruhsatı bulunmaktadır. Özel sektör kömür sahalarındaki rezervler, kamu tarafından ayrıntılı etütleri yapılan büyük sahaların dışındakiler hariç, genellikle beyana göre olup, bunların MİGEM tarafından kontrolü sınırlı olmaktadır [22].

Ülkemizin 2013 yılı satılabilir kömür üretimine göz atıldığında; 57,5 milyon tonu linyit, 2 milyon tonu taşkömürü ve 0,9 milyon tonu asfaltit olmak üzere bir önceki yıla göre %15,5 düşüş göstererek toplam 60,4 milyon ton olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Böylelikle, yerli kömür üretiminin 17 yıl önceki üretim seviyelerine gerilemiş olduğu

görülmektedir [24]. 1980'li yıllardan itibaren sürekli bir düşme eğilimine giren taşkömürü üretimleri 2004 yılında 1,9 milyon tona kadar gerilemiştir. Bu tarihten sonra tekrar hareketlenen satılabilir taşkömürü üretimi 2012 yılında 2,3 milyon ton düzeyindedir. 2013 yılında 1,9 milyon ton ve 2014 yılında ise bir önceki yıla göre %5 oranında gerileyerek 1,8 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Zonguldak havzası'nda 2004 yılından itibaren TTK tarafından rödovans karşılığı özel firmalara kömür üretimi uygulaması başlatılmıştır. 2014 yılında özel sektör tarafından üretilen taşkömürü toplam üretimin yaklaşık %28,6'sı oranındadır [25].

Linyit üretimleri ise, özellikle 1970'li yılların başlarından itibaren, petrol krizlerine bağlı olarak elektrik üretimine yönelik linyit işletmeleri yatırımlarının başlaması ile hızlanmıştır. 1970 yılında 5,8 milyon ton olan linyit üretimi, 1998 yılında yaklaşık 65 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Ancak, bu tarihten itibaren, özellikle doğalgaz alım anlaşmaları nedeniyle linyit üretimi sürekli azalmış, 2004 yılında 43,7 milyon ton ile en düşük seviyesini görmüştür. Bu tarihten sonra tekrar yükselen linyit üretimleri 2008 yılında 76 milyon tonu görmüş, ancak daha sonra tekrar gerileyerek 2013 yılında 57,5 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda ülkemiz linyit üretimlerinin 2008 yılı sonrası gerileme eğilimine girdiği anlaşılmaktadır. Söz konusu gerilemenin nedenleri arasında; Afşin-Elbistan Linyit Havzası'nda işletilmekte olan Çöllolar Açık Kömür Ocağı'nda 2011 tarihinde meydana gelen heyelanlar nedeniyle ocakta üretimin durdurulmak zorunda kalınması ve sektörde yeni yatırımların gerek kamu, gerekse özel sektör tarafından yeterince yapılamaması öne çıkmaktadır [21].

Ülkemizde 2013'te tüketilen kömür; 28,2 milyon tonu yerli ya da ithal taşkömürü ve 55,2 milyon tonu ise linyit olmak üzere toplam 83,4 milyon ton olmuştur. Dolayısıyla bir önceki yıla göre 2013 yılında taşkömürü tüketimi %10,5, linyit tüketimi ise %19,5 oranında düşüş göstermiştir. Toplam kömür tüketimindeki gerileme ise %16,6 dolayındadır. 2013 yılı taşkömürü arzının %41,8 oranındaki en büyük kısmı elektrik üretiminde ve %20,1 oranındaki kısmı ise ısınma amaçlı olarak tüketilmiştir. Kok fabrikalarının payı %19,8, diğer sanayinin payı ise %18,3 düzeyindedir. Taşkömürü tüketiminde elektrik santrallerinin payı giderek artmaktadır. On yıl önce %20 düzeyinde olan söz konusu pay 2003 yılı itibariyle %40 dolayını geçmiştir. Ülkemizde üretilen linyit kömürleri; elektrik üretimi amacıyla termik santrallerde, sanayi sektörlerinde ve ısınma

amaçlı olarak konut ve işyerlerinde tüketilmektedir. Linyitin elektrik üretimi amaçlı tüketim payı, 1970'li yılların başında ısı değeri bazında %20'ler düzeyindeyken bu tarihten itibaren artmaya başlamış ve 2001 yılında %80 ile en yüksek seviyeyi görmüştür. Sonrasında ise süreç tersine dönmüş, elektrik üretimindeki payı görece düşerken sanayi sektörleri ile konut ve hizmetlerde kullanım payı tekrar artmıştır [21].

2.5 Kömür Zenginleştirme Yöntemleri

Kömürlerin zenginleştirilmesi çalışmaları yaklaşık 50 yıldır devam etmekte olup, bugüne kadar farklı yöntemler kullanılmıştır. Kömür zenginleştirme işlemi, minerallerin (pirit gibi) ve yanma öncesinde kirleticilerin (kükürt gibi) giderilmesi için kullanılan en etkin yöntemlerden biridir. Bu yöntemlerin belirlenmesinde kömürün oluşum koşulları, yapısı ve içerdği safsızlıklar önemli rol oynamaktadır [26], [27], [28].

Kömürün tüketim bakımından belirli büyüklükte olması ve yanmayan madde miktarının mümkün olduğu kadar az olması istenir. Böylece yanma olayı daha verimli olmakta, kömürün kalitesi yükselmekte, elde edilen ısıdan en iyi şekilde yararlanılmakta, ulaşım giderleri, cüruf ve küllerin temizlenme masrafı azalmakta, daha az kül bırakan temiz bir yakıt elde edilmektedir. Ayrıca, kömürün içindeki sülfür oranının azalması ile çevre kirliliği de önemli ölçüde önlenmektedir. Bu koşullar dikkate alındığında, kömür zenginleştirme işleminin önemi ortaya çıkmaktadır [29].

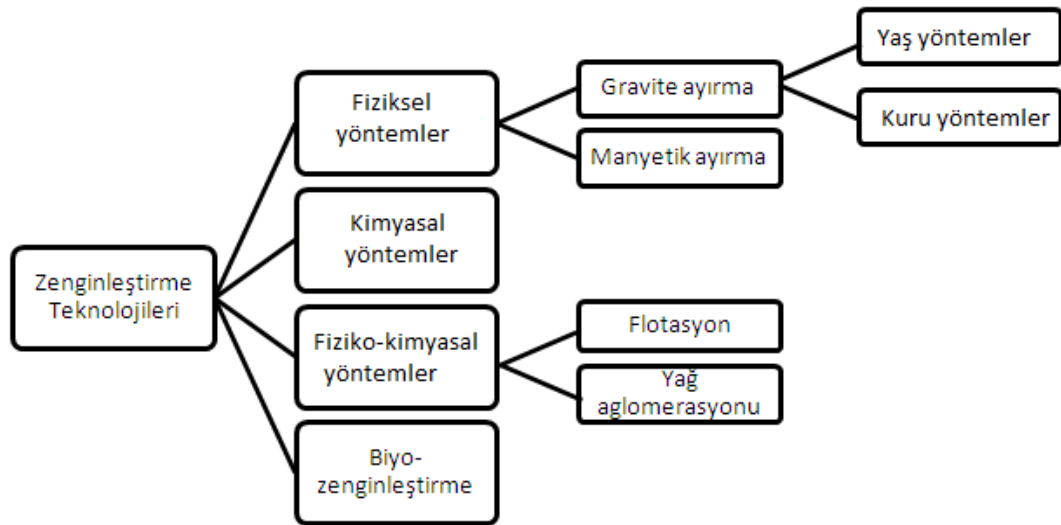
Kömürü mineral maddeler ve piritik kükürt gibi safsızlıklardan temizleyebilmek için öncelikle içindeki safsızlıklarla kömür arasında bir serbestleşme olması gerekmektedir. Bu serbestleşmenin sağlanabilmesi için bazen ufalama işlemleri gerekli olmaktadır. Ancak bilindiği üzere, kömür yakıldığı süreçlere uygun olarak farklı boyutlarda hazırlanmaktadır. Ayrıca kömür iri boyutta olduğu zaman taşıma, depolama, hazırlama, yıkama vb. işlemler daha kolay ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu sebeplerden ötürü, kömür hazırlama- yıkama işlemlerinde, mümkün olduğunca, kömür ufalamadan kaçınılmakta, kömürün yıkama işlemlerine uygun boyuta (200 mm, 150 mm, 100 mm veya yakın boyutlar) indirilmesi ufalama açısından yeterli görülmektedir. Sadece ekonomik değeri yüksek olan (genelde koklaşır nitelikli) kömürlerde biraz daha ince boyutlara ufalama yapılabilmektedir. Kömürlerde sayılan nedenlerden dolayı fazla

ufalama istenmediği için genelde merdaneli kırıcılar tercih edilmektedir. Tesis için uygun boyuta indirgenen kömürler zenginleştirme devrelerine beslenirler [30].

Kömür zenginleştirme teknolojilerindeki son dönem gelişmelerini aydınlatmak için yapılan sınıflandırma Şekil 2.1’de gösterildiği gibidir. Bu teknolojiler; fiziksel, kimyasal, fiziko-kimyasal ve biyo- zenginleştirme olarak 4 farklı şekilde uygulanabilmektedir [26].

- **Fiziksel yöntemler:** Gravite ayırma ve manyetik ayırma olarak 2 şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Gravite ayırma teknolojileri; yaş ve kuru yöntemlerle ayırma olmak üzere 2 ayrı yöntemle uygulanmaktadır. Kuru ayırma yöntemlerinin büyük çoğunluğu ayırma ortamını ve kuvvetlerini oluşturmak için havayı kullanmaktadır. Bu pnömatik yöntemler; havalı ağır ortam cihazları, hava masaları ve hava jigi olarak gruplandırılabilir. Bunların içinde ticari açıdan en yüksek kullanım şansına hava jigleri sahiptir [31].



Şekil 2. 1 Kömür zenginleştirme işlemlerinin sınıflandırılması

Hava masalarının yüzeyleri delikli ve eğimlidir. Bu masaya beslenen tüvenan kömür, elek şeklindeki masa yüzeyinden gelen statik hava ile tabakalandırılmakta, hafif olan ve hava akımı ile hareket kazanan temiz kömür, masanın en uç daralan kısmından ayırıcının üst kısmından kazanılmaktadır. Elek yüzeyine temas eden yan taş ise eğimin tersi yönünde taşınarak masadan uzaklaştırılmaktadır. Bu masaların kapasiteleri 12-60

ton/saat arasında değişmekte, kömür besleme boyutları ise 2-4 mm'den 5-10 cm'ye kadar çıkabilmektedir [32].

Havalı jigler; eğimli, titreşimli, elek şeklinde bir yüzeyden oluşmaktadır. 2,5 kPa dolayındaki basınçlı hava, delikli yüzeye alt taraftan verilmekte ve altta yoğunluğu yüksek taş, üstte hafif olanlar (kömür) olmak üzere tabakalaşma meydana gelmektedir. Atık, yataktan elek yüzeyi boyunca yerleştirilmiş üç boşaltma ünitesi ile alınmaktadır. Yüzeyin sonunda dördüncü bir boşaltma sistemi de ara ürün için yerleştirilmiştir. Sistemin en önemli avantajı 1-50 mm boyutundaki kömürün sınıflandırılmadan direkt olarak sisteme beslenebilmesidir. Endüstriyel uygulamalarda besleme külüne bağlı olarak %10 ile %20 arasında kül içeren kömürlerin elde edilebileceği belirtilmektedir. Sistemden alınan artık kül oranı ise uygulamalara bağlı olarak %50-%60 arasında değişim göstermektedir [32].

Ağır ortam ayırması yöntemi, gravite yöntemleri arasında en basiti olup, bu yöntemle yapılan zenginleştirme işlemlerinde daha ekonomik olarak temiz kömür üretilmektedir. Ağır ortam sistemlerinde kömür ile artığı ayırmak için özgül ağırlığı 2,0'den küçük olan ağır ortamlar kullanılır. Ağır ortam süspansiyonlarında ferrosilikon ve manyetit kullanılmaktadır. Özellikle manyetit yıkama tesislerinde tercih edilen en önemli ağır ortam materyalidir. İri boyutlu zenginleştirme işleminde kullanılan manyetitin %40'ı, ince boyutlu zenginleştirmede ise %85'i 45 µm altında bir dağılım göstermektedir. Malzeme ve ağır ortam, sisteme devamlı beslenmekte, yüzen kısım (lave) taşma yoluyla, batan kısımlar da (mikst, şist) banyo dibinden alınarak, birlikte gelen ağır ortamın ayrılması için, ayrı ayrı süzme eleklerine verilmektedir. Elek altına geçen ortam direkt olarak üniteye, elek üstü malzemesi ise yıkanmak üzere yıkama eleğine verilmektedir. Yıkama eleğinden elde edilen elek altı kirli ağır ortam, temizleme ve ayarlama işlemine tabi tutulmasının ardından, tekrar ağır ortam banyosuna aktarılmaktadır. Endüstriyel çapta kullanılan ve genelde boyutu 100 mm olan kömürlerin zenginleştirilme işlemine uğradıkları ağır ortam ayırıcıları tekne (oluk), koni ve tambur şekllindedirler [33], [34], [35].

Manyetik ayırma; kömür ve gang mineralleri arasındaki manyetik duyarlılık farkına dayanan bir yöntemdir [26], [35]. Manyetik ayırma ile kül oranının düşürülmesi

alışmalarında iki yol izlenmiştir. İlk yöntemde, mineral maddelerin organik yapılı kömüre kıyasla daha fazla manyetik duyarlılığa sahip olmasından faydalanılmaktadır. İnce kömür, bir akım halinde güçlü bir manyetik alandan geçirilmekte, mineral maddelerin bir kısmı bu manyetik alana yöneldiği için kömürden ayrılabilmektedir. Bu teknoloji endüstriyel anlamda uygulama şansı bulamamıştır. İkinci yöntemde ise, ya kömürün tamamen ısıl işleme tabi tutulması (karbonizasyon) ya da mikro dalga ile seçimli mineral madde etkileşiminden sonra manyetik ayırma işleminin gerçekleştirilmesi söz konusudur [36].

- **Kimyasal yöntemler:** Kömürden kl ve kükürtün uzaklaştırılması için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Kömürde yer alan kükürt, ısıtılarak veya asit, alkali çözelti ile karıştırılarak ztlenir. Pirit, kömürde yer alan inorganik kükürt ana bileşenidir ve piritik kükürt genellikle asitle kömürden uzaklaştırılır. Kimyasal ztleme, linyitten kükürt gideriminde kullanılan en etkili yöntemdir ancak sadece deneysel çalışmalarda uygulama alanı bulmuştur [26].

- **Fizikokimyasal yöntemler:** Flotasyon ve yağ aglomerasyonu şeklinde iki yöntemle uygulanabilir.

Flotasyon; Yüksek oranda kül ve kükürt içeren kömürlerin bu bileşenlerden arınması için kullanılan en etkin yöntemlerdendir [37]. Bu yöntemle yıkama suyu içinde kalan çok ince boyutlu (- 0,5 mm) kömür kazanılabilmektedir. Ayrıca ince kömür, pulverize yakıt olarak veya briket üretiminde kullanılabilmektedir [38]. Flotasyon, kömür tane yüzeylerinin hidrofob özelliğine bağlı olarak yüzdürülmesi prensibine dayanır. Temiz kömür yüzeyi doğal olarak hidrofob olduğundan, kömürün gang minerallerinden ayrılması oldukça kolay olmaktadır. Kömürün yüzebilirliği, kimyasal ve petrografik yapısı ile kömürleşme derecesine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Kömürleşme derecesinin artmasıyla karbon içeriği artmakta, buna karşın oksijen ve hidrojen gibi bileşenler azalmaktadır. En yüksek yüzebilirlik %89 karbon içeriğinde gerçekleşmektedir. Bu içeriğin altında veya üzerinde doğal yüzebilirlik azalmaktadır [39].

Yağ aglomerasyonu; toz kömürlerin zenginleştirilmesinde kullanılan ve flotasyona alternatif olarak geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntem, flotasyonla zenginleştirilemeyen

çok ince boyutlu tanelerin kazanılmasında oldukça etkilidir. Yağ aglomerasyonu, kömür taneciklerinin bir yağ ile yüksek hızda etkileşime uğratılması prensibine dayanmaktadır. Etkileşim sonucunda hidrofobik kömür tanecikleri ince bir yağ tabakası ile kaplanmakta, karıştırma sonucunda yağ kaplı kömür tanecikleri çarpışarak ve yüzeylerindeki yağın bağlayıcı etkisiyle birbirlerine tutunarak aglomeratları oluşturmaktadır. Dağılmaya karşı dayanıklı olan bu bileşenler, mekanik bir yöntemle (eleme) süspansiyondan alınmakta, hidrofilik mineral maddeler ise dağınık bir halde süspansiyon içerisinde kalmaktadır [40], [41], [42].

- **Biyo-zenginleştirme yöntemi:** Düşük işletme gideri ve sermaye gerektiren yöntem, hem piritik hem de organik kükürtün mikrobiyal katalizörlerle kömürden uzaklaştırılabildiği, önemli bir enerji kaybına ve kömür atığına yol açmayan bir yöntemdir. Düşük sıcaklık (25-75°C) ve atmosferik basınçta çalışan bu yöntemin enerji gereksinimi kimyasal işleme oranla daha düşüktür [43].

KÖMÜRÜN BRİKETLENMESİ

Ülkemiz enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutan linyitler, kırılgan yapılarından ötürü, cevher hazırlama, nakliye ve depolama işlemleri esnasında büyük oranda toz kömür haline gelmektedir. Açığa çıkan toz kömürler; stoklandıkları alanlarda hava ile temas ettikleri için kendiliğinden tutuşabildikleri gibi, yakma sistemlerinde kullanıldıklarında da tam olarak yakılamamaktadır. Yanmayan bu taneciklerin bacadan atmosfere geçmesi, hem çevre kirliliğine sebebiyet vermekte, hem de yenilenemeyen bir enerji kaynağının kaybına yol açmaktadır. Bu linyitlerin değerlendirilmesinde ve olumsuz yönlerinin azaltılmasında kullanılabilecek en uygun teknoloji, briketlemedir [44], [45].

Briketleme; yakıtın katkı maddeleri ile karıştırılarak veya katkısız olarak bir kalıp içerisinde basınç altında preslenmesi sonucu; farklı şekillerde (küp, yastık, silindir veya yumurta gibi) sağlam ve kaliteli bir yakıt haline dönüştürülmesi işlemidir. Kömürün briketlenmesi; yeterli ısı değere sahip toz kömürleri değerlendirmek ve yüksek nem içerikleri nedeniyle tuvenan olarak yakılması zor olan kömürlerin kurutma yoluyla ısı değerlerinin artırılması ve arkasından, briketleme yöntemi ile yüksek ısı değerli sağlam bir yakıt haline dönüştürülmesi için gerçekleştirilmektedir [46], [47].

Briketleme ilk olarak 150 yıl öncesinde Avrupa’da, toz linyitlerin sanayiye kazandırılması için uygulanmaya başlanmıştır. İlk briketleme tesisi 18. yüzyılda Fransa’da (St. Etienne) çalışmaya başlamış, bunu İngiltere (New Castle) ve Almanya (Wiesche)’deki tesisler takip etmiştir [48]. Ülkemizde de ilk briketleme tesisi 1939 yılında Zonguldak’ta kurulmuştur. 1982 yılında Vize-Kırklareli’de diğer önemli bir tesis faaliyete geçmiştir. Bunu Ankara, Erzurum, İstanbul ve diğer illerimiz izlemiştir [38].

3.1 Briketlemenin Faydaları

Toz haldeki kömürün değerlendirilmesini ve standartlara uygun kaliteli bir yakıtı dönüştürülmesini sağlayan briket teknolojisinin uygulanmasının sağladığı yararlar aşağıda verilmiştir.

- Kömür toz halindeyken yakma sisteminde sorun yaratmakta ve ızgara altına düşmektedir. Ancak briketleme işlemi ile yakma sistemine uygun tane büyüklüğüne getirilmektedir.
- Stokta tutulan toz kömür, yüzey alanının geniş olması ve uygun sıcaklığın bulunması gibi faktörlere bağlı olarak havanın oksijeni ile tepkimeye girebilmekte ve kendi kendine tutuşabilmektedir. Briketleme ile bunun önüne geçilmektedir.
- Kükürt içeriği yüksek kömürler yanma sırasında SO_2 ve türevi gazların açığa çıkmasına sebep olurlar. Briketleme işleminde kullanılan katkı maddeleri (kireç vb. kükürt tutucu malzemeler) yanma esnasında bu bileşiklerin külde tutulmasını sağlamakta ve büyük ölçüde çevre kirliliğinin önüne geçmektedir.
- Toz halde bulunan kömürler yakma sisteminde baca gazları ile sürüklenmekte, atmosfere geçerek hava kirliliğine sebep olmaktadır. Briketleme, bunu önleyerek kirliliğin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.
- Briketleme teknolojisi ile standartlarda belirtilen özelliklere uygun, yanma verimi yüksek ve kalite bakımından benzer yakıtların üretimi mümkündür.
- Briketleme ile kömürler sağlam bir yapıya kavuştuğu için paketleme ve nakliyat esnasında tozlaşmazlar.
- Düşük kaliteli olarak nitelendirilen, ısı değeri düşük, nem içeriği yüksek olan kömürler bu teknoloji ile kullanım olanağı bulmakta, bu şekilde hem öz kaynaklarımız değerlendirilmekte, hem de nispeten kaliteli bir ürüne dönüştürülmektedir [18], [45], [47], [49], [50], [51], [52].

3.2 Briketlemede Kullanılan Yöntemler

İnce taneli malzemelerin briket haline getirilmesi oldukça eski bir tekniktir. Bu teknik kömürün yapısına bağlı olarak genelde 2 şekilde uygulanmaktadır:

- Katkı maddeli briketleme
- Katkı maddesiz briketleme

Katkı maddeli (bağlayıcı) briketleme: Uygulanması oldukça eskiye dayanan bu yöntem, sert kömürlerin uygun bir katkı maddesi ile briketlenmesinde kullanılmaktadır [53]. Ülkemiz linyitleri, yüksek mineral içeriğine sahip oldukları ve kömürleşme dereceleri ilerlemiş olduğu için katkı maddesi kullanılarak briket haline getirilebilmektedir. Bu tip kömürler her ne kadar katkı maddesi kullanılmadan da briketlenebilseler bile, su ile temas ettikleri durumda veya nemli ortamda kaldıklarında dağılmaktadırlar. Briketlerin fiziksel dayanımlarını arttırmak için de katkı maddesi ilavesi önem taşımaktadır [46], [54]. Katkı maddeleri ve eklenme oranları, briketlerin ısı davranışları ve yanmaları üzerinde oldukça önemli bir rol oynamaktadır.

Katkı maddesi eklenmiş briketlerin üretim aşamaları şu şekildedir; ilk olarak kömürün hazırlanması gerekmektedir. Bu aşamada; kömür kırılmakta, öğütülmekte ve kurutulmaktadır. Parçacık boyutu ve nemi istenen seviyeye getirilmiş kömür, uygun katkı maddesi ile karıştırılmakta ve elde edilen karışım bağlayıcının etkinlik kazanacağı ve kömür yüzeyine yayılacağı sıcaklığa getirilmektedir. Uygun sıcaklıktaki karışım, son aşamada roll-preslere beslenerek basınç altında briket haline dönüştürülmekte ve elde edilen ürünler, genelde ortam sıcaklığında bantlar üzerinde dinlendirilmeye bırakılmaktadır. Briketleme prosesinin çalışma koşulları işletmeler bazında farklılık göstermektedir. Örneğin preslemede kullanılan basınç 70 ile 5600 kg/cm² arasında, sıcaklık ise oda sıcaklığından, 500°C'a değin değişebilmektedir [13], [18], [51], [55].

Katkı maddeli briketlemenin temelini oluşturan ve elde edilen briketlerin mekanik özelliklerini etkileyen bağlayıcıların sahip olması gereken özellikler şu şekildedir:

- Bağlama yeteneğinin iyi olması,
- Yanma sonrasında oluşan kül ve cüruf oranını arttırmaması,
- Ekonomik olması ve piyasadan kolay tedarik edilebilmesi,
- Suda çözünmemesi,
- Yanma esnasında insan sağlığını ve çevreyi olumsuz etkileyecek bileşik oluşturmaması,

- Öğütölmüş kömür içinde kolay dağılarak homojen bir karışım oluşturmaması,
- Yanma sırasında çevreyi rahatsız edecek kokular yaymaması
- Tutuşma sıcaklığının düşük olması ve kolaylıkla yanabilmesi,
- Isıl değerinin, kömürün ısıl değeriinden daha düşük olmamasıdır [46], [53], [54].

Briketleme prosesinde kullanılan katkı maddeleri organik ve inorganik olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

Organik bağlayıcılar; hidrofob ve hidrofil katkı maddeleri olarak 2 sınıfta değeriendirilirler [18], [54], [56], [57]. Hidrofob katkı maddeleri, suya dayanıklı ve sert briket üretiminde kullanılan, uygulama sırasında ısı enerjisi ile viskozluk özelliğini yitirerek, akışkanlık kazanan maddelerdir. Zift, katran, bitüm, asfalt, doğal ve sentetik reçineler ve naftalin bu bağlayıcılara örnek olarak verilebilir. Petrol türevli bu bağlayıcıların kullanımı, yanma sonrası sebep oldukları emisyonla çevre kirliliğine neden oldukları ve insan sağlığını olumsuz etkiledikleri için çoğu ölkede yasaklanmıştır [45], [54], [58]. Suda çözünen ve hidrofob katkı maddeleri kadar dayanıklılık sağlamayan hidrofil katkı maddeleri ise, lifli ve yağ içeren organik atıklar, sülfite likörü, melas, nişasta, metil selüloz ve pomas (zeytin küspesi) gibi organik maddelerdir. Bu bağlayıcıların çevreye olumsuz etkileri hidrofob katkı maddelerine oranla daha azdır [56], [59], [60]. Organik bağlayıcıların briketlemede uygulanma şekilleri farklılık gösterebilmektedir. Kömürden elde edilen katran ile şeker atığı olan sülfite likörü 70-90°C’da [61], zift ise 100-120°C aralığında akışkanlık kazanmakta ve karışıma eklenmektedir [46]. Bir diğeri organik bağlayıcı olan nişasta, nemli kömürlere doğrudan eklenebildiği gibi, nem değeri uygun kömürlere su ile karıştırılarak, süspansiyon halinde de ilave edilebilmektedir.

İnorganik bağlayıcılar; yanma sırasında bozunmayan ve organik bağlayıcılara oranla düşük maliyetli olan maddelerdir [62]. Bu bağlayıcılar; çimento, kil, bentonit, kireç, kireçtaşı, jips, magnezyum oksit, sodyum ve diğeri alkalilerin silikatları, dolomit gibi maddeleri kapsamaktadır [18], [56], [59], [61], [63], [64], [65]. Katkı maddesi olarak kireç, dolomit veya olivin gibi malzemelerin kullanılması, kömürde yanma sonucu açığa çıkan kükürtlü bileşiklerin külden tutulmasına olanak sağlamaktadır [61], [66]. Ancak bu

katkılar yanma sonrası inorganik matrise geçtikleri ve kül oranını artırdıkları için briketin ısı değerinde düşüşe sebebiyet verirler. Dolayısıyla briket karışımına uygun oranda katılmalıdırlar. Günümüzde diğer organik bağlayıcılar karışımına en çok %5 oranında, CaO, Ca(OH)₂ veya CaCO₃ katılarak, kükürt emisyonu kontrol altında tutulmaktadır [62].

Katkı maddesiz (bağlayıcısız) briketleme: Kömürleşme derecesi düşük, optimum nem içeriğine sahip linyitlere uygulanabilen ve ekonomik açıdan uygun olan bir yöntemdir. Bu yöntemle düşük kaliteli kömürler, geniş kullanım olanağı bulunan yüksek enerji yoğunluğundaki yakıtlara düşük maliyetlerle dönüştürülmektedir [67]. Katkı maddeli briketleme işleminde, nemin varlığı olumsuz bir etki yaratırken, bu teknikte aksine briket dayanımında etkili, çok önemli bir faktördür [47].

Katkı maddesiz briketlemenin uygulanacağı kömürün sahip olması gereken özellikler şunlardır:

- Yumuşak türden bir kömür olması
- Sıkıştırma esnasında sertlik kazanmaması
- Plastik özellik göstermesi
- Sıkıştırma sırasında fazla iç sürtünme göstermemesi
- Yeterince homojen bir yapıda ve bileşimde olmasıdır [46].

Kömürün elastisite ve plastiklik gibi bazı özellikleri bu briketleme türü üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Elastiklik özelliğinin artması veya plastisitenin azalması briketlemede olumlu sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır [68].

Katkı maddesiz briketleme ile ilgili birçok teori ortaya atılmıştır. Lyengar, briket dayanımında hidrojen bağlarının etkin olduğunu belirtmiştir. Ellison ise hidrojen bağlarının yeterince güçlü olmadığını ve yüksek dayanımlı briket üretiminde moleküler bağların (Van der Waals) daha etkin olduğunu iddia etmiştir [67].

Katkı maddesi içermeyen briketleme; klasik yöntem ve sıcak briketleme yöntemi olarak iki şekilde uygulanabilmektedir. Klasik yöntem, tane boyut aralığı 0-4 mm veya 0-5 mm olan, uygun nem değerine (%15-18) kadar kurutulmuş kömür örneklerine

uygulanabilmektedir [53]. Sıcak briketleme yöntemi ise, koklaşma özelliğine sahip kömürlerin, ısı etkisi altında 400-500°C aralığında yumuşatılması ve plastiklik özelliği kazandırılarak briketlenmesi temeline dayanmaktadır [46].

3.3 Briketlemeye Etki Eden Faktörler

Briketleme teknolojisi uygulama açısından her ne kadar kolay görünse de, birçok faktörün göz önüne alınmasını gerektirmektedir. Kömür için uygun briketleme yönteminin seçimini ve briketleme sonucunda elde edilecek ürünün kalitesini etkileyen bu parametreler aşağıda verilmiştir.

Kömür yapısı ve özellikleri

Makromoleküler yapıdaki kömürün briketlenme potansiyelinin belirlenmesinde sahip olduğu özellikler oldukça önem taşımaktadır. Kömürün petrografik özelliklerine bakıldığında; içerdiği bazı maseral grupların dayanıksız olduğu ve basınç altında kolaylıkla dağılarak ince parçalar haline gelmesine sebebiyet verdiği görülmektedir. Dolayısıyla bu türde kömür kullanılarak mekanik dayanımı iyi olan briketlerin üretimi mümkün olmamaktadır.

Kömürün yapısında bulunan kimyasal gruplar ve özellikle tuvenan kömürde bulunan kil ve kum gibi yabancı maddeler briketlemeyi olumsuz etkileyen faktörler arasındadır. Bunun sebebi, yapıdaki kilin su ile temas ettiği zaman şişmesi ve briket dayanımını azaltmasıdır [46].

Kömürün nem içeriği de briketleme açısından önem taşımaktadır. Kömürdeki nem, parçacıklar arasındaki serbest yüzey enerjisini azaltarak, birbirlerine yapışmalarını sağlamaktadır. Bu şekilde, brikette mukavemet artmaktadır. Öte yandan nem değeri, kuruma süresi ve mekanizmasını etkileyerek maliyet artışına da sebep olabilmektedir [69]. Isı transferinde de önemli bir rol oynayan nem değerinin %20'den yüksek olması durumunda, preslemede oluşan ısı, suyun buhar fazına geçmesi için harcanmakta ve briket dağılabilmektedir. Bunun tersi bir durum söz konusu olduğunda ise kömürdeki düşük orandaki su buhar haline geçmekte, böylece katkı maddesi bozulmakta ve briket sağlamlığını yitirmektedir [70]. Tüm bu etkenler göz önüne alındığında kömürün nem oranının optimum bir değerde tutulmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Kömürün mineral madde içeriği de briket dayanımı üzerinde etkilidir. Mineral madde oranının artması, presleme işlemi sırasında, sürtünmenin etkisiyle sıcaklığın olması gereken değerin üzerine çıkmasına sebep olmaktadır. Yüksek sıcaklık karşısında bitüm bozunmaya uğramakta ve dolayısıyla briketin mukavemeti azalmaktadır [18].

Kömürün parçacık boyutu da briketleme üzerinde etkin rol oynayan parametrelerdendir. Kömürün parçacık boyutu küçüldükçe ortaya daha sağlam briketler çıkmaktadır [71]. Bunun sebebi, yüzey alanının büyümesi ve tanecikler arasındaki temasın artmasıdır. Ayrıca boşluk oranının azalmasına bağlı olarak basınç altında sıkıştırılan kömür parçacıkları daha yoğun bir yapıya kavuşmaktadır [72]. Parçacık boyutu küçük olan kömür oranının yetersiz olması, iri parçacıkların presleme esnasında kırılmasına ve bu kırılan kısmın zayıf briketler oluşturmaya sebep olmaktadır [73]. Bu nedenle briketlemede uygun parçacık boyutu dağılımı tercih edilmelidir. Briketlemede kullanılan kömürün parçacık boyutu genellikle 6 mm'nin altıdır.

Bağlayıcı türü ve oranı

Briketleme işlemini etkileyen en önemli faktör; daha önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere uygun bağlayıcı kullanımıdır. Optimum oranda kullanılmış doğru bir bağlayıcı ile üretilen briketin sağlamlığı, standartlarda belirtilen koşulları sağlayabilecek niteliktedir [74]. Briketleme işleminde kullanılacak bağlayıcı miktarının az olması durumunda, kömür taneleri tam olarak bağlanamamakta ve çok fazla olduğunda da, bağlayıcı içindeki kohezyon kuvvetleri etkisini göstermektedir. Bağlayıcı içindeki kohezyon kuvvetleri, genellikle kömürle bağlayıcı arasındaki adhezyon kuvvetlerinden daha düşük olmaktadır [62].

Briketleme sıcaklığı

Briketlerin yeterli sağlamlıkta olabilmeleri için sıcaklık önemli bir faktördür. Presleme sıcaklığının yükselmesine paralel olarak briketlerin dayanımlarında da artış söz konusu olmaktadır. Bu artış, belli bir değerde maksimuma erişmekte, bu değerden sonraki sıcaklık artışı briket sağlamlığını negatif yönde etkileyecek şekilde ilerlemektedir. Sıcaklık optimum değerdeyken elde edilen briketler pürüzsüz ve çatlaksız iken, yüksek

sıcaklıklarda aşırı buharlaşma sonucunda, hidrojen bağlarının da etkinliğini yitirmesiyle çatlak ve düşük dayanımlı briketler elde edilebilmektedir [68].

Presleme basıncı ve süresi

Presin uygun olarak beslenmesi ve uygun çalışma koşullarının sağlanması briketlerin sağlamlığı açısından önem teşkil etmektedir. Presleme basıncı, kömür tanelerini birbirine yaklaştıracak, ancak onları kırmayacak büyüklükte olmalıdır [62]. Düşük basınçta (30-60 MPa), kömür tanecikleri arasındaki etkileşim yeterli olmadığı için, yüksek dayanımlı briket elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla kolay parçalanacak briketler elde edilmektedir. Bununla birlikte, yüksek presleme basıncında (150-250 MPa), sürtünmeden kaynaklı oluşan küçük parçacıklar, büyük parçacıklar arasındaki boşlukları doldurmakta ve böylece daha sağlam briketler elde edilmektedir. Ayrıca yüksek basınçta parçacıkların yoğunlaşması adhezyonu artırmakta, temas alanında moleküller arası bağlar oluşmakta ve parçacıklar arası uzaklık azalmaktadır. Böylece Vander Waals, sıvı köprü, kapiler kuvvetler gibi etkiler artmakta ve sonuç olarak briket dayanımı yükselmektedir [68], [72], [75].

Presleme süresi de briketin sağlamlığına etki etmektedir. Kullanılan presin cinsine bağlı olarak dayanımı yüksek briket eldesi 10 ve 20 sn arası basınç uygulamakla mümkün olmaktadır [46].

Briketin şekli ve ağırlığı

Briketler kullanılan kalıba göre, yumurta, yastık, silindirik, tetrahedral ve dikdörtgen gibi farklı şekillerde üretilmektedir [76]. Briketlerin kullanım amacına uygunlukları ile ağırlık ve şekilleri arasında bağlantı bulunmaktadır. Bu kapsamda aşağıda sözü edilen hususlar önem taşımaktadır.

Dikdörtgen şeklindeki ağır briketler depolama için uygundur ancak geniş ve pürüzsüz yüzeye sahip olduklarından fırına beslendiklerinde genellikle dağılırlar ve yanmayı artırır. Kenarları yuvarlatılmış, prizma şeklindeki veya yumurta şeklindeki briketler, evsel kullanımda daha çok tercih edilmektedir. Kenarları yuvarlak olanlar daha az toz oluşmasına neden olurlar ve bu tür briketlerde hava sirkülasyonu iyidir. Tutuşması nispeten zor olan bu briketlerin yanması iyidir [54].

Briketlerin gözenekliliği

Gözeneklilik, briketin termal davranışını ve mekaniksel dayanımını etkileyen önemli bir parametredir. İyi preslenmemiş, yoğunluğu düşük bir briketin gözenekliliğinin yüksek olması, sağlamlığının düşük olduğuna işaret etmektedir. İyi sıkıştırılmış bir briket için ise tersi bir durum söz konusudur. Bu türde briketin, gözenekliliği daha düşük, dayanımı ise yüksektir [77]. Gözeneklilik oranı genç kömürlerde daha yüksek olup, kömürleşme derecesinin artmasıyla önce azalmakta sonra da bir miktar artmaktadır.

Kömürün kurutulma şartları

Kurutma işlemi kömürün neminin istenilen orana getirilmesi için gereklidir. Bu işlemde en çok kullanılan kurutucu tipleri; kızgın gaz taşıyıcılı boru kurutucu ve direkt ısıtmalı döner fırındır [62]. Kömürlerin kurutma işlemleri yüksek sıcaklıklarda ve kısa sürede gerçekleştirilirse, kömür tanelerinin yüzeyinde mikro çatlaklar oluşmakta ve bunlar üretilen briketlerin basınç dayanımı üzerinde negatif bir etki yaratmaktadır. Kurutma işleminin, uygun sıcaklıkta ve kömürün tüm yüzeyine etki edecek şekilde homojen bir ısı dağılımıyla gerçekleştirilmesi durumunda, elde edilecek briketler daha sağlam olmaktadır [78], [79].

Isıl işlem

Briketleme işleminde, elde edilen briketlere ısı işlem uygulanması, briketin suya karşı dayanımını ve mekanik sağlamlığını etkilemektedir. Katkı maddeli briketlemede tercih edilen bu yöntem ile hem briket bünyesindeki nem uzaklaştırılarak ısı değerinde artış sağlanmakta, hem de kömür tanecikleri briket içinde birbirine daha sağlam bir şekilde bağlanmaktadır. Bu yöntemde, akışkan haldeki bağlayıcı, basınç altında taneciklerin yarık ve çatlaklarına girmekte, ısı işlem ile briket bünyesinde katılaşıp kalmaktadır. Böylece suya dayanımı iyi, mekanik olarak sağlam bir yapı elde edilebilmektedir. Endüstride ısı işlem uygulanmayan briketler ise lamineli torbalarda muhafaza edilmektedir. Ancak bu şekilde maliyet artmaktadır [80].

Briket yüzeyinin kaplanması

Katkı maddesi kullanılmadan üretilen briketlerin, ortam şartlarında veya depolamada maruz kalabilecekleri suya karşı dayanımlarını artırmak ve dağılmalarının önüne

geçmek için yüzeyleri hidrofob bir madde ile kaplanabilmektedir. Bu yöntemde katran, ham petrol, parafin, balmumu ve mazot gibi hidrokarbon türevli maddeler kullanılmakta, söz konusu maddeler belli sıcaklıklara ısıtılarak briket tamamen girmesi ve yüzeyinin kaplanması sağlanmaktadır. Suya karşı dayanım ve dışarıda depolama hususlarında avantaj sağlayan bu yöntem, kaplama malzemesinin briket yüzeyinde yapışkanlık sağladığı ve uzun kuruma süresine ihtiyaç duyulduğu için sanayide pek fazla uygulanma olanağı bulamamıştır [38], [73].

3.4 Briketlerde Aranacak Özellikler

Farklı teknolojilerle üretilen kömür briketlerinin sahip olması gereken özellikler, ülkemizde 1996 yılında kabul edilen TS 12055- Kömür Briketi-Ev Isınmasında Kullanılan-standartı ile belirlenmiştir. Kömürlerden bağlayıcı veya bağlayıcısız olarak üretilen ve içerisindeki katkı maddesi-bağlayıcı oranı toplamı %30'u aşmayan, ısınma amaçlı kullanılan kömür briketlerini kapsayan söz konusu standarta göre, briketlerin sahip olması gereken fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 3. 1 Kömür briketlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri [81]

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

Sağlamlık: Briketlerin, yükleme, boşaltma, taşınma, depolama gibi işlemler esnasında parçalanma ve ufalanmaya karşı gösterdikleri direncin ölçüsü olan bu kavram, Çizelge

3.1’de de görüldüğü üzere, aşınma, kırılma ve düşme sağlamlığı olmak üzere üç farklı testle belirlenebilmektedir.

Suya Dayanım: Briketlerin suya karşı dayanımlarının düşük olması yanma özelliklerini ve kalitelerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu kapsamda, suya karşı mukavemetleri düşük olan briketler torbalanarak veya üstü kapalı şekilde piyasaya arz edilmelidir.

Yanma Özelliği: Briketin yanması olayında etkin olan ilk parametre ısı değeridir. Yanma sonucu açığa çıkan ısıнын bir ölçüsü olan ısı değeri, kömürün yapısına bağlı olarak değişim gösterir. Karbon oranı düşük turbada bu değeri daha düşükken, kömürleşme oranı yüksek linyit, bitüm ve antrasite doğru gidildikçe artış göstermektedir. Ayrıca kömür bünyesinde yer alan nem ve kil gibi maddeler ısı değerini düşürmektedir. Briketlerin yanma özellikleri bunun dışında; kimyasal özelliği, tutuşma sıcaklığı, gözeneklilik, kül ergime sıcaklığı gibi faktörlerden de etkilenmektedir.

3.5 Literatürde Gerçekleştirilen Briketleme Çalışmaları

Kömür briketleme ile ilgili olarak literatürde yapılan çalışmalardan birkaçı aşağıda özetlenmiştir.

Beker ve Küçükbayrak tarafından yürütölen bir çalışmada, İstanbul-Kemerburgaz bölgesine ait linyit kömürü, bağlayıcı (melas ve Şırnak asfaltiti) ve bağlayıcısız olarak briketlenmiş, nem içeriğinin ve bağlayıcı konsantrasyonunun briket dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada öncelikle linyit kömürünün briketlemeye uygun hale getirilmesi sağlanmış, bu kapsamda kömür 378 K’de kurutularak, nem değerleri %8-14 aralığında değişecek şekilde ayarlanmıştı. Asfaltit numunesi ise kırılarak, 0-3 mm tane boyut aralığına elenmiştir. Linyit: bağlayıcı oranı, asfaltit için; %3, %5, %7, %9 ve %12, melas için ise %7, %9 ve %12 olarak kullanılmıştır. Hidrolik bir preste laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen briketleme işleminde, 150 ve 200 MPa olmak üzere iki farklı basınç değeri kullanılarak, silindirik briketler elde edilmiştir. Sonuç olarak, bağlayıcı kullanılmadan hazırlanan brikette, nem içeriğinin, shatter indeks ve basınç dayanımı üzerindeki etkisinin oldukça belirgin olduğu ve artan nem içeriğiyle bu değerlerin de artış gösterdiği saptanmıştır. Briketleme basıncı için de aynı pozitif etki söz konusu olmuştur. Bağlayıcısız olarak hazırlanan farklı nemlerdeki briketlerin suya

dayanımlarının ise zayıf olduğu, tümünün 5 dakikadan kısa sürede dağılmaya başladığı gözlenmiştir. Asfaltitin bağlayıcı olarak kullanılmasıyla elde edilen briketlerin sonuçlarına bakıldığında, asfaltit konsantrasyonu %9-12, nem oranı %13 ve briketleme basıncı 200 MPa iken; uygun shatter indeks değerinin bulunduğu, basınç dayanımının ise artan bağlayıcı oranına paralel olarak arttığı ve maksimum değere (11,9 MPa) %12 asfaltit oranında, %13 nem ile ulaşıldığı ortaya konulmuştur. Ayrıca briketleme basıncının 150 MPa'dan 200 MPa'a yükseltilmesiyle aynı asfaltit oranında daha yüksek dayanım elde edildiği görülmüştür. Briketlerin suya mukavemetlerinin ise zayıf olduğu, asfaltit oranına ve uygulanan basınca bağlı olarak değişen bu değer, %12 asfaltit ve %13 nem oranında, 200 MPa'da 40 dakikayı bulduğu, sonrasında briketlerin dağılmaya başladığı saptanmıştır. Bir diğer bağlayıcı olan melasın kullanıldığı briketlerde ise, maksimum shatter indekse; %8 nem ve %12 bağlayıcı oranı ile ulaşılmış, 150 MPa ve 200 MPa için bu değerler sırasıyla, 1714 ve 2572 olarak bulunmuştur. Melas konsantrasyonunun artması basınç dayanımını düşürmüştür. Briketlerin suya dayanımları ise artan melas oranıyla yükselmiş, maksimum değerine 200 MPa basınç, %8 nem içeren linyit ve %12 melas kullanıldığı durumda erişmiştir. Bu koşullarda briket su içerisinde 23 saat sonra dağılmaya başlamıştır. Elde edilen sonuçlar çerçevesinde, asfaltitin aynı koşullar altında melasa oranla daha zayıf briketler verdiği ve Kemerburgaz linyiti için dayanım ve suya mukavemeti sağlama açısından uygun bağlayıcının melas olduğu, aynı zamanda bu linyitin bağlayıcısız briketlemeye elverişli olmadığı belirlenmiştir [82].

Çinçinoğlu ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, ısı değeri düşük ve yüksek kükürtlü Şırnak linyiti ile ithal linyitler (Güney Afrika ve Rusya'ya ait) farklı oranlarda karıştırılmış, bağlayıcı olarak melas ve tall-yağı kullanılarak briketlenme performansları incelenmiştir. Kükürt tutucu olarak sönmüş kirecin kullanıldığı çalışmada, farklı bileşimlerde hazırlanan briketlerin kuruma sürelerine bağlı olarak göstereceği davranışlar irdelenmiş, sağlamlık testleri (düşme sağlamlığı, kırılma ve aşınma sağlamlığı), kısa analiz ve ısı değeri analizi ile yakıt olarak kullanılabilirlikleri araştırılmıştır. Çalışmalar neticesinde, ithal kömürlerin yerli linyit ile karıştırılmasıyla oluşturulan briketler ile saf ithal kömürlerden hazırlanan briketlerin sağlamlık değerleri birbirine yakın sonuçlar vermiş, ancak analiz değerlerinde (kül, uçucu madde oranı,

kükürt miktarı ve ısı değeri) farklı değerler ortaya çıkmıştır. Briketler 4-6 saat süreyle kurutulduklarında orta kuruma, 8 ila 12 saat arasında kurutulduklarında ise iyi derecede bir kuruma sağlanmıştır. Buna karşın 12 saat üzerinde yapılan kuruma işleminin briketlerin karakteristik özelliklerini etkileyemediği saptanmıştır. Briketlerde melasla birlikte kireç kullanımı kül oranını artırırken, tall-yağı ile briketlenen kömürlerde kül oranında azalma meydana gelmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar, briketlemede yaygın olarak kullanılan melasın yerine tall-yağının da kullanılabileceğini, ithal linyitlerle yerli linyitin karıştırılmasıyla elde edilecek yakıtın, standartlarda belirtilen kaliteyi yakalayacak nitelikte olduğunu ortaya koymuştur [45].

Pakistan'ın Khyber Pakhtun Khwa bölgesine ait düşük ranklı kömürleri değerlendirmek üzere Memon ve arkadaşları tarafından yürütülen bir çalışmada, bölgeye ait kömürler polivinil asetat (PVA) ve CaCO_3 ile farklı oranlarda karıştırılarak briketlemeye tabi tutulmuş, elde edilen ürünler, yanma karakteristikleri ve parçalanma dayanımları açısından analiz edilmiştir. 600 μm parçacık boyutundaki üç farklı kömür örneğinin kullanıldığı çalışmada, farklı oranlarda katkı maddeleri (bağlayıcı ve kireç tutucu) söz konusu kömür numuneleriyle karıştırılmış ve 7 farklı bileşimde silindirik şekilli briketler elde edilmiştir. Briketler analiz edildiklerinde, tümünün nem oranının %2'den düşük olduğu ve bunun da tutuşma süresini olumlu yönde etkilediği saptanmıştır. Briketlerin ısı değeri içerdikleri sabit karbon oranına bağlı olarak farklılık göstermiş, 1, 4 ve 5 nolu briketlerin sabit karbon değeri yüksek olduğu için yanma sonrası daha fazla ısı yaymışlardır. 3 nolu briket örneğinde ise içeriğine eklenen CaCO_3 'ten dolayı kül oranında artış ve sabit karbon oranında azalma meydana gelmiştir. Yanabilir kütlenin azalmasına bağlı olarak da söz konusu örnekte en düşük kalori değeri elde edilmiştir. Parçalanma testlerine bakıldığında; değerlerin 1471 N ile 2059 N arasında farklılık gösterdiği, 1, 2, 4 ve 5 nolu briketlerde, 6 ve 7 nolu briketlere oranla daha yüksek dayanım sağlandığı belirlenmiştir. En yüksek dayanıma (2059 N) PVA ile CaCO_3 'ün birlikte kullanıldığı 3 nolu brikette ulaşılmıştır. Bunun sebebi olarak da bünyedeki nem ile katkı maddesi CaCO_3 'ün birleşerek, sementasyona katkıda bulunması ve dayanımı arttırması gösterilmiştir. Elde edilen verilere dayanarak, düşük maliyetle, kısa sürede tutuşabilen, düşük kül içerikli ve yüksek kalorili briket elde etmek için bu yöntemin uygunluğu ortaya konmuştur [83].

Groven ve çalışma grubu, atık haldeki toz kömür parçacıklarını ve bağlayıcı olarak plastik katı atık kategorisindeki düşük yoğunluklu polietileni (LDPE) kullanarak, briket teknolojisi ile ekonomik ve ekolojik açıdan geçerli bir yakıt yapmayı hedeflemiştir. Çalışmada, standart teknikler kullanılarak, briketlerin ısı ve mekanik açıdan karakterizasyonu yapılmış, dayanımı yüksek briket elde etmek için gereken koşullar araştırılmıştır. Bu kapsamda, Güney Hindistan bölgesine ait kömürler kurutularak 250 µm boyutuna getirilmiş, %5, 7, 10 ve 15 oranlarında bağlayıcı kullanılarak basınç altında briket haline getirilmiştir. Ortam şartlarında 48 saat süreyle kurumaya bırakılan briket numuneleri, polietilenin briket içerisinde eriyerek kömürün yüzeyini tamamen örtmesi ve dayanımı arttırması için 1 saat süreyle 150°C'da fırın içinde tutulmuştur. Ardından soğutularak mekanik ve ısı analizlere hazır hale getirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, polietilen konsantrasyonunun artışına bağlı olarak basınç dayanımının da arttığı, maksimum oranda bağlayıcı (%15) kullanılarak hazırlanan briketin, 24 saat suda bekletildiğinde dahi dayanımını yitirmediği belirlenmiştir. Düşük polietilen konsantrasyonlarında ise briketlerin suda dağıldığı veya dayanımlarını büyük oranda kaybettiklerine yer verilmiştir. Aşınma sağlamlığı için de benzer sonuçlar elde edilmiş, artan bağlayıcı oranıyla bu değer de artış göstermiştir. Ancak diğerlerinden farklı olarak %7 polietilenle hazırlanan brikette belirgin bir düşüş saptanmış, bu ise kömürün nem içeriğinin yüksek olmasına bağlanmıştır. Enerji yoğunluğu açısından diğer plastıklere kıyasla yüksek yoğunluğa sahip polietilenle hazırlanan brikette, ısı değerlerinde de artış meydana gelmiştir. %10 bağlayıcı briketin üst ısı değerinin, toz kömüre göre %11 daha fazla olduğu ve artan enerji yoğunluğunun briketin üretim maliyetlerini de dengeleyeceği ortaya konmuştur. TGA/DSC cihazı ile kömür ve polietilen için piroliz ve yanma kinetikleri hesaplanmış, bu aşamada Arrhenius denklemi kullanılarak reaksiyon dereceleri sabit tutulmuştur. Termogravimetrik analiz, kömüre polietilen ilavesinin, ekzotermik tepkimelerin başlangıç sıcaklıklarını belirgin bir şekilde aşağıya çektiğini göstermiştir. Laboratuvar ölçekli yanma deneyleri ise polietilen eklenmesinin toz kömürün tutuşma karakteristiklerini olumlu yönde etkilediğini, uygun koşullarda bağlayıcı konsantrasyonu artışının yanma verimi ve alev sıcaklığını da arttırdığını ortaya koymuştur [84].

Altun ve arkadaşlarının yürüttükleri çalışmada, briket geometrisinin yanma verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında, Çorum-Alpagut bölgesine ait linyit kömürü 833 μm altına getirilmiş, bağlayıcı olarak kullanılan %10 karboksimetil selüloz (CMC) ve %10 oranında su ile karıştırılarak, laboratuvar ölçekli bir preste briket haline getirilmiştir. Briket boyutunun yanma üzerindeki etkisi 2 farklı yaklaşımla değerlendirilmiştir. İlk yaklaşımda, çap (2,50 cm, 4,00 cm ve 5,50 cm) ve boydaki (4,00 cm, 6,00 cm, 8,00 cm ve 10,00 cm) artışın, ikincisinde ise aynı hacme sahip ancak boyutları değişkenlik gösteren briketlerin yanma üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Bu bağlamda, briket hacmi 2,50 $\emptyset$ x 8,00 cm’de sabit tutulmuş, boyutlar ise 2,50 $\emptyset$ x 8,00 cm, 3,00 $\emptyset$ x 5,56 cm, 4,00 $\emptyset$ x 3,16 cm ve 6,00 $\emptyset$ x 1,40 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Hazırlanan briketler bir reaksiyon hücresi içerisinde yakılmış, bu esnada kullanılan oksijen ile yanma sonrası açığa çıkan karbon oksit oranları sıcaklığa karşı kaydedilmiştir. Çalışmalar sonucunda, briketlerin boyutlarındaki genişlemenin, yanma açısından bir dezavantaj oluşturduğu ve anlık yakıt tüketiminin azalmasının yanma reaksiyonlarının etkinliği üzerinde ters bir etki yarattığı saptanmıştır. Briketlerin boyutlarındaki artış, oksijenin yanabilir kütleye difüze olmasını güçleştirmiş ve yanma olayının gerçekleşme süresini uzatmıştır. Böylece daha az kütle oksijenle temas ederek yanmış ve açığa çıkan ısı enerjisi azalma göstermiştir. Briket boyutlarındaki değişimler ayrıca reaksiyonların aktivasyon enerjisi değerlerini de etkilemiştir. En düşük aktivasyon enerjisi değeri, boyu 4,00 cm olan brikette elde edilmiştir. Aktivasyon enerjileri 2,50, 4,00 ve 5,50 cm’lik briketlerin boyunun 4,00 cm’den 10,00 cm’ye genişletilmesiyle sırasıyla; 30,45’ten 37,21 kJ/mol’e, 33,11’den 41,00 kJ/mol’e ve 38,10’dan 46,01 kJ/mol’e artmıştır. Hacmin 2,5 $\emptyset$ x 8,0 cm’de (39,27 cm³) sabit tutulduğu briketlerde ise uzunluk/çap oranının değişimi briketlerin yoğunluğunda farklılıklara sebep olmuş ve bu da briketlerin yanma davranışını etkilemiştir [85].

Kural ve arkadaşları, Türkiye’de önemli oranda rezervi bulunan ve kolayca dağılabilen toz haldeki linyitleri değerlendirmek üzere, yeni bir bağlayıcı kullanarak briketleme işlemini gerçekleştirmiştir. Petkim Petrokimya’nın polipropilen üretim biriminden temin edilen ve tesisin yan ürünü olan ataktik polipropilen (APP), kısmen okside edilmiş, emülsiyon haline getirilerek bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Briketleme için optimum koşulların araştırıldığı deneysel çalışmalar, APP’nin birçok avantaja sahip

olduğunu, tar, melas, sülfite likör ve kil gibi diğer ticari bağlayıcılarda bulunan dezavantajları içermediğini ortaya koymuştur. Ayrıca, diğer plastik bağlayıcılardan farklı olarak briketlemede güçlüğe yol açmaması ve üretim maliyetinin düşüklüğü gibi olumlu yönleri de belirtilmiştir. Ancak bu bağlayıcının emülsiyon halinde kullanımının gerekliliği, bu karışımı hazırlayacak bir birimin bulunmasını zorunlu kılmıştır [86].

Zubkova ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma, farklı kömürleşme derecesine sahip (yüksek, düşük ve orta ranklı) üç örnekten faydalanılarak, iki kömür karışımı hazırlanması ve bu karışımların karbonizasyon davranışlarının incelenmesi üzerine odaklanmıştır. Çalışmada öncelikle kömür örnekleri 3 mm altına öğütülmüş, ilk karışım 70:20:10 oranında, ikincisi ise 20:70:10 oranında düşük, orta ve yüksek ranklı kömür içerecek şekilde hazırlanmıştır. Briket numuneleri; karışımla aynı bileşimde olacak şekilde, bağlayıcı olarak %2 kömür katranı, %2 düşük yoğunluklu polietilen ve %2 polipropilen kullanılarak, yüksek ranklı kömür ile yapılmıştır. Hazırlanan briketler, karbonizasyona tabi tutulmuş, ısıtılan kısımda oluşan hacimsel değişiklikler X-ray cihazı ile görüntülenmiştir. Ayrıca gözenekli yapıdaki değişiklikler SEM cihazı ile, ürünlerin pirolizi ve bu esnada gerçekleşen kütle kayıpları ise FTIR ile bağlantılı çalışan TG cihazı ile incelenmiştir. Deneysel çalışmalar neticesinde, aynı bileşimdeki briketlerin sisteme eklenmesinin kömür taneciklerinin şişme aşamasında, ısıtma duvarı yakınında hacim artışını kolaylaştırdığı ve bunun da koklaştırma basıncında yükselmeye neden olacağı ileri sürülmüştür. %2 katran, düşük yoğunluklu polietilen ve polipropilen ve yüksek ranklı kömürle hazırlanan briketlerin, diğer iki kömür karışımına yüklenmesi, kömür taneciklerinin şişme safhasındaki hacim artışını azaltmış ve koklaştırma basıncının düşüşünü sağlamıştır. Piroliz deneyleri sonucunda ise eklenen katkı maddesinin, oluşacak uçucu maddelerin bileşim ve oranları ile birlikte, briketlerin yapı ve gözeneklerindeki değişiklikleri de etkileyeceği tespit edilmiştir. Araştırmalar, uçucu madde bileşiminin, %2 polipropilenle hazırlanan briket üzerinde etkisinin bulunmadığını, %2 düşük yoğunlukta polietilen içeren briketin çoğunlukla gazlaştırmaya maruz kaldığını, %2 katran içerikli briketin ise yüksek oranda uçucu madde parçalanmasına bağlı olarak yoğunluğunu artırmaya eğilimli olduğunu ortaya koymuştur [87].

Blesa ve çalışma grubu [88], düşük ranklı kömür ve zeytin çekirdeği kullanarak oluşturdukları dumansız briketlerin mekanik dayanımlarının, kür sıcaklığına bağlı olarak değişimini araştırmıştır. Bağlayıcı olarak melasın kullanıldığı bu çalışmada, kür sıcaklığının etkisini belirlemek üzere; FTIR, TPD ve eş zamanlı çalışan kütle spektrometresi ve optik mikroskop kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında, düşük ranklı kömür ve zeytin çekirdeği 600°C'da birlikte piroliz edilmiş, elde edilen karbonize malzeme, %14 melas ile karıştırılarak, 125 MPa basınç altında preslenerek briket haline getirilmiştir. Elde edilen briketler, 150°C ve 200°C'a kadar O₂/Ar atmosferi altında ısıtılmış, 200°C'da ise 2 saat ve 4 saat boyunca ayrı ayrı bekletilmiştir. Deneyler sonucunda, 200°C'da 2 saat süreyle kür edilen briketlerin, hem morfolojik olarak hem de mekanik dayanım açısından, sırasıyla 150 ve 200°C'da ısıtılma uğramamış ve 200°C'da 4 saat ısıtılma uğramış briketlere oranla, daha düzgün ve dayanıklı olduğu ortaya konmuştur. Buna sebep olarak ise kömür parçacıklarının birbirine daha yakın olması ve daha az boşluk içermesi gösterilmiştir. Briketlerin suya dayanımları da sıcaklık kürü ile artış göstermiş, en iyi dayanım yine 200°C'da 2 saat bekletilen brikette sağlanmıştır. Bu ise, briket stabilizasyonuna katkıda bulunan, karboksil gruplarının varlığı ile açıklanmıştır.

Briketlerin gördükleri ısıtılma işlemi ile, yapılarındaki karbonize bileşenler ve bağlayıcı arasında etkileşim olduğu söylenmiştir. Isıtılma işlemi, hidrojen bağlarının yanı sıra alifatik yapılar ve metoksi grupların da azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak; briketlerin yapılarında belirgin moleküler değişiklikler olmadığı için, ısıtılma işleminin 2 saatten fazla yapılmasının gerekli olmadığı ortaya konmuştur.

Yıldırım, yürüttüğü çalışmada, Afşin/Elbistan ve Sorgun/Yozgat bölgelerine ait linyit kömürlerinin bağlayıcısız olarak briketlenebilirliklerini incelemiştir. Bu kapsamda, linyitlerin kül içerikleri sarsıntılı masa ve flotasyon yöntemleriyle azaltılmış ve inorganik madde içeriği düşürülmüş ürünler, atmosferik koşullarda, bir fırın içerisinde 90°C'da 48-192 saat süreyle okside edilmiştir. Okside edilmiş numuneler, yine 90°C'da 2 L hacmindeki bir reaktör içerisinde, 1 saat süreyle amonyum hidroksit (NH₄OH) ile reaksiyona sokulmuş ve sonuçta amonyum humat üretimi sağlanmıştır. Amonyum humat üretimi ile briketlemede kömür parçacıklarının bir araya getirilmesi

hedeflenmiştir. Elde edilen bulamaç halindeki karışım, 80°C'a değin ısıtılarak, 460-1565 kg/cm² arasında değışen basınç değeri altında briketlenmiştir. Briketler kurutma fırınında tekrar 80°C'a kadar ısıtılmış, sonrasında ısıtışlemin briket dayanımı ve suya mukavemeti üzerindeki etkilerini izlemek amacıyla, sıcaklık 135°C'dan 175°C'a artırılarak 1 saat bekletilmiştir. Sonraki aşamada ise briketlerin kalite testlerini gerçekleştirmek üzere oda sıcaklığına kadar soğutulması sağlanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmaları neticesinde; linyitlerin inorganik minerallerden kurtulması için sarsıntılı masa ve flotasyon yöntemlerinin etkili olduğu saptanmış ve bu yöntemlerle kül içeriğinin, Elbistan linyiti için %39,4'ten %32,4'e, Sorgun linyiti için ise %29,96'dan %14,6'ya kadar düşürülebildiğı ortaya konmuştur. Briketlerin mukavemetlerini arttırmak üzere uygulanan ısıtışlemin aşamasında en iyi sonuçlar, 165°C'da elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta kırılma sağlamlığı değeri Elbistan ve Sorgun linyitlerinden elde edilen briketler için sırasıyla; 176,5 ve 151 kg/cm² olarak tespit edilmiştir. Ancak bu sıcaklık değeri suya dayanımları için artış, yalnızca Sorgun linyiti için söz konusu olmuş, Elbistan linyitinin hiçbir sıcaklık değeri suya dayanımının bulunmadığı, bunun ise kil minerallerinin numune içerisinde ince şekilde yayılmasının sonucu olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, oksidasyon periyodunun briketlerin dayanıklılığı üzerinde pozitif bir etki oluşturduğu, sağlam briketler üretmek için en az 144 saatlik bir oksidasyon sürecinin gerekli olduğu saptanmıştır. 460 kg/cm²'den başlayarak 1565 kg/cm²'ye kadar değıştirilen briketleme basınçları, hem Elbistan hem de Sorgun linyitinden hazırlanan briketlerin kırılma sağlamlığı üzerinde etkili olmuş ve değeri arttırmıştır. Sonuç olarak, bu yöntemin organik bazda %15'ten fazla alkalide çözünebilir hümik asit içeren linyitler için uygun olduğu ileri sürülmüştür [89].

Sağlam ve çalışma grubu [90], Manisa ili Soma ilçesine ait linyit kömürü tozlarının, sülfite atık çözültisiyle briketlenebilme koşullarını incelemiş ve elde edilen briketlerin suya ve atmosfer koşullarına karşı dayanımının artırılması için gerekli parametreleri araştırmıştır. Üç aşamalı olarak gerçekleştirilen deneylerin ilk aşamasında, briketleme için optimum koşullar belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, bağlayıcı konsantrasyonu, briketleme basıncı ve briketleme sıcaklığı gibi faktörlerin etkisine bakılmıştır. Briketleme sıcaklığının belirlenmesinde, %6 bağlayıcı içeren karışım, 20, 40, 60, 80 ve 100°C'da, 1000 kg/cm² basınç altında briketlenmiş ve bu şekilde uygun

sıcaklık belirlenmiştir. Briketleme basıncı saptanırken, yine bağlayıcı konsantrasyonu %6'da sabit tutulmuş, karışım 80°C'da, 200-1400 kg/cm² arasında değişen değerlerde briket haline getirilmiştir. Bağlayıcı konsantrasyonu belirlenirken de linyit kömürü, %4, %6, %10, %12, %14 ve %16 oranlarında sülfat atığı ile ayrı ayrı karıştırılmış, 80°C ve 1000 kg/cm²'de briket haline getirilmiştir. İkinci aşamada; briketlerin suya mukavemetlerini arttırmak için retortlama denemeleri yapılmıştır. Bu işlemde %4-14 arasında değişen konsantrasyonlarda bağlayıcı içeren briketler, 280-360°C arasında değişen sıcaklıklarda retortlanmıştır. Deneysel çalışmanın son aşamasında ise, retortlanmış briketlerin, suya ve atmosfer koşullarına karşı dayanımlarına bakılmış, briketlere ayrıca düşme testi de uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, 80°C'da, 1000 kg/cm²'lik basınç altında, %10 sülfat katı maddesi kullanılarak hazırlanan briketlerin en yüksek dayanıma sahip olduğu (129 kg/cm²), ancak suya karşı dayanıksız oldukları, söz konusu briketlerin 320°C'da retortlanması ile bu problemin de ortadan kalkacağı belirtilmiştir.

Yıldırım ve Özbayoğlu birlikte yürüttükleri çalışmada, çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkide bulunan (katran ve petrol rafineri atığı gibi) ve çevreye uygun olmasına rağmen, suya mukavemet gösteremeyen briketler üretilmesine neden olan bağlayıcılara (melas, dekstrin gibi) alternatif olarak kömür türevli bir bağlayıcı olan hümik asiti kullanmış ve briketlenme performansını araştırmışlardır. Ayrıca briketleme sırasında, ısı işlem etkisi, kullanılan bağlayıcı oranı, parçacık boyutu, basınç ve nem içeriği gibi briketin kalitesi üzerine etki eden faktörler de incelenmiştir. Deneysel çalışmaların ilk safhasında bağlayıcı olarak kullanılacak hümik asitin üretimi gerçekleştirilmiştir, bu aşamada Türk linyitleri içinde en yüksek hümik asit içeriğine sahip Afşin-Elbistan kömürü kullanılmıştır. Nitrik asit oksidasyonu ve amonyaklama olarak iki basamakta yapılan hümik asit ekstraksiyonu sonrasında briketleme işlemine geçilmiştir. 30 g Tunçbilek linyiti ile uygun oranlarda hümik asitin 15 dakika karıştırılmasıyla elde edilen karışım, 80°C'a ısıtılmış ve preslenmiştir. Elde edilen briketlere, mekanik dayanımlarının artırılması için ısı işlem uygulanmış ve sonrasında kalite kontrol testlerine geçilmiştir. Yapılan testler, hümik asitin, hem suya dayanımı sağlamak hem de mekanik dayanım ve aşınma sağlamlığını arttırmak hususlarında verdiği olumlu sonuçlar nedeniyle, briketleme için uygun bir bağlayıcı olduğunu

göstermiştir. Briketleme için optimum koşullar; %5 hümik asit ve -5 mm parçacık boyutundaki, %10,5 nem içeren linyitin karıştırılarak, 1,28 t/cm² basınç altında preslenmesi ve sonrasında elde edilen briketlerin 165°C'da 1 saat ısı işlem görmesiyle elde edilmiştir [91].

Ivanov ve arkadaşları, linyit kömürünü, düşük maliyetli biyo-bağlayıcılar ile briket ve granül olarak dumansız yakıt haline getirmiş ve bu yakıtları etkileyen; nem, basınç, biyo-bağlayıcı oranı, sıcaklık ve süre gibi parametreleri incelemiştir. Deneysel araştırmada, Borodino ve Berezovo bölgelerine ait linyit kömürleri kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak, Borodino linyitinin aerobik ortamda mikroorganizmalar ile işleme sokulmasıyla oluşan biyolojik kökenli ürün kullanılmıştır. Yüksek viskoziteli bu ürün, su ile karıştırılarak akışkan hale getirilmiştir. Briketleme aşamasında; kömür-bağlayıcı oranı, 60:40, 70:30, 80:20 ve 90:10 olarak seçilmiş, presleme basınçları ise 100, 120 ve 140 MPa olarak belirlenmiştir. Granülasyon için ise 200 mm partikül boyutundaki kömür kullanılmış, granülatörde gerçekleştirilen işlem sonrasında 30 mm çapında granüller elde edilmiştir. Berezovo bölgesine ait 0-3 mm parçacık boyutundaki linyit ise ısıtılmış kalıp ile briketlemeye tabi tutulmuştur.

Çalışmanın bir diğer safhasında, elde edilen briket ve granüller farklı sıcaklıklarda (450, 500, 550 ve 600°C) piroliz edilmiş ve elde edilen ürünler, kırılma sağlamlığı, aşınma sağlamlığı ve suya dayanım açısından test edilmiştir. Ayrıca ısı değer, uçucu verimi ve dumansızlık yönünden de analiz edilmiştir. Yapılan çalışmalar, yüksek kalitede briket üretiminin (kırılma sağlamlığı 12 MPa, aşınma sağlamlığı %80 olan); %15-17 aralığında nem içeriğine sahip, Borodino linyitinin, %10 oranında biyo-bağlayıcı ile karıştırılıp, 100 MPa basınçta preslenmesiyle elde edildiğini göstermiştir. Dayanıklı granüllerin (kırılma sağlamlığı 5,8 kg/granül) oluşturulması ise yine Borodino linyiti ile sağlanmış, bunun için kömür neminin %20'den fazla olmaması ve biyo-bağlayıcı konsantrasyonunun %70'in üzerinde olmaması koşulu öne sürülmüştür. Bir diğer briket üretim yöntemi olan ısıtma kalıbı ile, 100 MPa basınç altında, kömür sıcaklığı 120°C, kalıp sıcaklığı ise 350°C iken yüksek kalitede ürünler ortaya çıkmıştır. Briketlerin suya ve atmosfer koşullarına dayanımı iyi olduğundan ve mekanik dayanımda da uygun sonuçlar elde edildiğinden, uzun mesafelere taşıma esnasında problem yaratmayacak bir yakıt haline dönüştüğü ileri sürülmüştür.

Piroliz aşamasında ise, dumansız yakıt eldesi için gereken sıcaklığın 550°C'dan düşük olmaması gerektiği vurgulanmıştır. Buna sebep olarak, söz konusu sıcaklıklarda uçucu madde oranının %20'nin üzerinde olmaması gösterilmiştir. Ayrıca çalışmalarda dumansız yakıtın ısı değeri, herhangi işlem görmemiş ham kömüre göre 1,8-2 kat fazla olduğu da (26 MJ/kg) belirlenmiştir [92].

Beker ve arkadaşları, düşük kaliteli Afşin-Elbistan linyiti ile yüksek kaliteli Sibirya bitümlü kömürünü karıştırarak, bağlayıcı ve bağlayıcı olmayan briketleme için gereken optimum çalışma koşullarını saptamayı hedeflemiştir. %30, %40 ve %50 oranında bitümlü kömür içeren linyit-bitümlü kömür karışımı, 566 MPa ve 708 MPa basınç altında briketlenmiş, katkı olarak da ayçiçeği kabuğu, talaş ve melas eklenmiştir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen briketleme işlemi sonrasında, briketler 7 gün süreyle ortam koşullarında muhafaza edilmiş, sonraki aşamada aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve suya dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Deneysel işlemler neticesinde, Afşin-Elbistan linyitinin yumuşak özelliğinden ötürü bağlayıcı olarak da briketlenebileceği, mekanik dayanım açısından uygun briketler üretilmesine olanak verdiği ancak suya direncinin bulunmadığı belirlenmiştir. Sert yapısından ötürü bağlayıcı olarak briketlenemeyen Sibirya bitümünün, linyitle birlikte briketlendiğinde dayanımı önemli ölçüde düşürdüğü saptanmıştır. Mekanik sağlamlıktaki bu düşüşü yükseltmek için eklenen katkı maddeleri öngörüldüğü üzere pozitif bir etki yaratmış, özellikle talaş ve melasla hazırlanan briketlerde maksimum dayanım değerlerine ulaşılmıştır. Isıl değeri düşük olan Afşin-Elbistan linyitinin, bitümlü kömür ve katkı maddeleri ile karıştırılması ısı değeri sonuçlarını da olumlu yönde etkilemiş ve kaliteyi arttırmıştır. %15 nem, %3,7 kükürt ve %27,4 kül içeriğine sahip Afşin-Elbistan linyitinin, Sibirya bitümlü kömürü ve bağlayıcılarla karıştırılarak briket haline getirilmesiyle; kül içeriği %5,6'ya, kükürt oranı ise %0,63'e kadar indirilmiş ve büyük ölçüde başarı sağlanmıştır. Deneysel çalışmada yalnızca suya dayanım hususunda olumsuz sonuçlar alınmış, hazırlanan tüm briketler 20 dakikadan sonra su içerisinde dağılmaya başlamıştır [93].

Rubio ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, düşük ranklı kömür örneğinden piroliz sonucu elde edilen karbonca zengin kütle (çar), farklı oranlarda ticari bir bağlayıcı (zift) ile karıştırılmış ve 125 MPa basınç altında briket haline getirilmiştir. Elde edilen briketlere, 200°C'da 2 saat ısı işlem uygulanmış ve sonrasında N₂ atmosferinde,

500-700°C'da karbonizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Karbonize haldeki briketlerin gözeneklerine etkide bulunmak için reaktörde su buharıyla 2 saat süreyle aktivasyon sağlanmıştır. Son aşamada ise hazırlanan briketlere mekanik dayanım testleri uygulanmış, yüzey özellikleri, B.E.T. yüzey alanı ve boşluk hacim ölçümleriyle saptanmıştır. Sonuç olarak, briketlerin mekanik sağlamlığının, çarın piroliz sıcaklığına ve eklenen bağlayıcının oranına bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bağlayıcı miktarındaki artışın (%10-25), briketlerin mekanik dayanımlarını önemli ölçüde arttırdığı, piroliz aşamasında uygulanan en yüksek sıcaklıkta (850°C) elde edilen çar ile %18'den fazla ziftin karıştırılmasıyla hazırlanan briketlerin, mekanik dayanım açısından iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır. Briketlere uygulanan ısı işlem ve karbonizasyon sonrasında, tümünün, yüzey alanı ve boşluk hacmi açısından benzer özellikler gösterdiği, aktivasyon aşaması sonrasında ise bu parametrelerin yükseldiği ortaya konmuştur. Briketlerin hazırlandığı 3 aşamada (ısı işlem, karbonizasyon ve aktivasyon) hem asidik hem de bazik grupların oluşabileceği belirtilmiştir. Buna göre, 300-600°C arasında, karbonun oksijen veya hava atmosferinde ısıtılmasıyla asidik grupların (karboksil, fenol, lakton) elde edilebildiği, bazik grupların ise karbonun 600°C'ın üzerine ısıtıldığında ve inert bir atmosferde ortam sıcaklığına soğutularak, hava, oksijen veya su buharına maruz bırakılmasıyla oluştuğu ileri sürülmüştür [94].

Toroğlu ve arkadaşları tarafından, Azdavay kömürlerinin yıkama yöntemiyle zenginleştirilmesi, elde edilen temiz ürünün merdaneli preste katkı maddeli olarak briketlenmesi ve hazırlanan briketlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile yanma özelliklerinin araştırılması şeklinde ilerleyen bir çalışma yürütülmüştür. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında, dağılma özelliği fazla olan, -10+0,5 mm boyut aralığındaki Azdavay kömür numunesi, feldspat yataklı pistonlu jigde yıkanmıştır. Jig tesisinden alınan temiz kömür ile 0,5 mm altı kömür karışımı, %10 melas ve %2 oranında sönmüş kireç ile karıştırılarak briket haline getirilmiştir. Briketlere dayanım testleri ve sobada yakma deneyi yapılmış, sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen verilere göre, Azdavay kömürünün +10 mm partikül boyutunun değerlendirilmesinin, ancak ağır ortam sistemleri ile mümkün olduğu, bu malzemenin 1,90 g/cm³ yoğunlukta yıkanarak değerlendirilmesi durumunda %74,1 oranında %18,96 kül içeriğinde temiz kömürün, %93,1 yanabilir verimle kazanılabildiği belirtilmiştir. -10+0,5 mm parçacık boyutuyla

yapılan jig deneyi sonucunda, kömür içindeki şistin kolaylıkla ayrılabilceği gözlenmiştir. Bu yıkama işlemi ile %57,2 oranında, %12,79 kül içeren temiz kömürün %71,5 yanabilir verimle alınabildiği belirlenmiştir. Üretilen briketlerin gerek ısı verim (%76,8) gerekse mekanik sağlamlık (tambur stabilitesi: %77, shatter stabilitesi: %96) açısından tatmin edici sonuçlar verdiği ve bu özellikler bakımından 1. Sınıf briket kategorisinde değerlendirilebileceği saptanmıştır [95].

Borowski ve Hycnar, toz halindeki atık kömürü değerlendirerek alternatif yakıt üretmeyi amaçladıkları çalışmada; briketleme yöntemini kullanmışlar ve elde ettikleri ürünleri kalite açısından analiz etmişlerdir. Çalışmanın ilk safhasında, Polonya'nın doğu kısmında yer alan Lublin Kömür Havzası'ndan üretim sonucu ortaya çıkan ve yan ürün olarak nitelendirilen kömür tozları temin edilmiş ve farklı bağlayıcılar (melas, patates nişastası, melas+ nişasta, odunsu biyokütle ve biyokütle+ melas) kullanılarak silindirik preste briket haline getirilmiştir. Briketler bantlar yardımıyla kurutma fırınına taşınmış ve bu kısımda kurutularak hazır hale getirilmiştir. İkinci safhada, üretilen briketlerin mekanik özellikleri; düşme testi, eksenel basınç testi (briketin kırılması için gereken kuvvetin ölçümü için) ve suya dayanım testleriyle belirlenmiş, bunların yanı sıra yakıt olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi için ısı değer ve emisyon oranı da ölçülmüştür. Yapılan çalışmalar neticesinde, melasın tek başına kullanılması durumunda, dayanıklı briketlerin elde edilmesinin mümkün olmadığı, melas oranının arttırılmasıyla briketlerin yanma özelliklerinin iyileştirildiği, ancak kırılma sağlamlığının gereken minimum değerin altında kaldığı saptanmıştır. Melas ve nişastanın birlikte kullanılmasıyla, daha güçlü briketlerin elde edildiği ama yine de gereken dayanımı karşılamada yetersiz kaldığı ortaya konmuştur. Nişasta ve odunsu biyokütle ile ayrı ayrı hazırlanan briketlerin mekanik testlerde olumlu sonuçlar verdiği, bunun yanı sıra yakılmaları sonrasında açığa çıkan ısının da beklentiyi karşılayacak derecede yüksek olduğu gözlenmiştir. Buna göre; %8 nişasta içeren briketin ~24 MJ/kg; %20 biyokütle içeren briketin ise 22 MJ/kg ısı değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Briketlerin suya dayanımları ise nişasta ve biyokütle içerikli ürünler için sırasıyla; 10 ve 11 dakika olarak belirlenmiştir. Ancak bu sürenin briketlerin doğal koşullarda depolanması için yetersiz olduğu, kapalı ortamlarda veya üzerleri kapatılmış olarak taşınmaları gerektiği vurgulanmıştır. Yanma testleri sonucunda ise, %20'yi aşmayan oranda biyokütle

kullanılarak hazırlanan briketlerin hava emisyonlarını önemli ölçüde etkilemediği, azot oksit (NO_x), SO_2 ve CO_2 gibi bileşenlerin azaldığı ancak CO ve H_2S 'in artış gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, toz halindeki atık kömüre biyokütle eklenerek oluşturulan briketlerin, yanma özelliklerini geliştirdiği, özellikle kükürt ve kül oranını düşürdüğü ve dolayısıyla hem endüstride hem de evsel kullanımda alternatif yakıt olarak değerlendirilebileceği ileri sürülmüştür [96].

Borowski tarafından yapılan bir başka çalışmada [97], kömür ile birlikte meşe ve kayın ağaçlarına ait talaşlar melasla karıştırılarak briket haline dönüştürülmüş ve endüstride enerji yakıtı olarak kullanılabilirlikleri incelenmiştir. Düşük kükürt ve kül içeriği bakımından kömüre oranla avantajı bulunan biyokütle örneği, kömür ile belli bir partikül boyutuna (-2 mm) getirilmiş, ardından melasla karıştırılarak 100°C 'a kadar ısıtılmıştır. Nem içeriği istenen seviyeye (< %12) getirilen karışım, 35 MPa basınç altında laboratuvar ölçekli bir pres yardımıyla briket haline getirilmiştir. Elde edilen briketler, dayanım açısından test edilmiştir. Yapılan çalışmalar; kömür ve biyokütleden üretilen briketlerin yüksek dayanıma sahip olduğunu, bağlayıcı olarak kullanılan melasın sağlamlığı arttırdığını ortaya koymuştur. Artan oranda biyokütle kullanımının dayanıklılığı önemli ölçüde etkilemediği, ancak yanma sırasında açığa çıkan enerjiyi azalttığı belirlenmiştir. Briketleme için uygun koşulların; %8 melas oranı ve %6-9 arasında değişen nem içeriğinde sağlandığı tespit edilmiştir. Sonuçlar; sağladığı dayanım ve yanma sonrası yaydığı yüksek ısıyla, kömür-biyokütleden üretilen briketlerin, endüstride kullanılabilirliğini kanıtlar nitelikte olmuştur.

Özbayoğlu ve çalışma grubu, Merzifon-Yeni Çeltik Kömür İşletmeleri'ne ait -3,36 mm parçacık boyutundaki ve yüksek kükürt içeriğindeki kömürü değerlendirerek, pazarda satışa sunulabilir, uygun bir yakıt haline dönüştürmeyi hedeflemişlerdir. Çalışmalarda öncelikle, -3,36 +0,5 mm boyutundaki yıkanmış kömür işletmeden temin edilmiştir. Farklı oranlarda kireç sütü ve melasla karıştırılan kömür, $63,15\text{--}105,26\text{ kg/cm}^2$ arasında değişiklik gösteren basınç değerlerinde briket haline getirilmiştir. Sonrasında 50°C 'da kurutma işlemine tabi tutulan briket örnekleri üzerinde laboratuvar testleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre, melasın, kırılma sağlamlığı üzerinde pozitif bir etki oluşturduğu, ancak artan oranlarda kullanılmasının, hem maliyet hem de nem içeriğini arttırma açısından olumsuzluklar çıkardığı belirtilmiştir. Melas için optimum miktar;

%5,8 olarak seçilmiştir. Kireç ilavesinin briket üzerindeki etkisine bakıldığında; melas gibi dayanımı arttırdığı ve ayrıca SO₂ emisyonunu düşürdüğü saptanmıştır. Ancak bu katkı maddesinin, kömür briketinin yakılmasıyla açığa çıkan kül miktarını yükseltmesi göz önüne alınarak, %5,8 oranında kullanılmasının uygun olduğu açıklanmıştır. Kurutma zamanının, briket dayanımına etkisini gözlemlemek amacıyla yapılan testlerden sonra ise, uygun sürenin 3 gün olduğu belirtilmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların tümü, elde edilen briketlerin, TS 12055 standartındaki tüm kriterleri sağladığını ortaya koymuştur.

Laboratuvar ölçekli gerçekleştirilen çalışmaların, pilot ölçeğe uyarlanması sırasında oluşan olumsuzluklar (besleme mekanizmasının düzensiz çalışması, presteki kalıpların birbiriyle eşleşmemesi gibi), istenilen şekilde ve sürekli briket üretimini engellemiştir. Sonuç olarak, 10-15 tph kapasitede briketleme tesisi içeren bir akış şeması geliştirilmiştir [98].

BÖLÜM 4

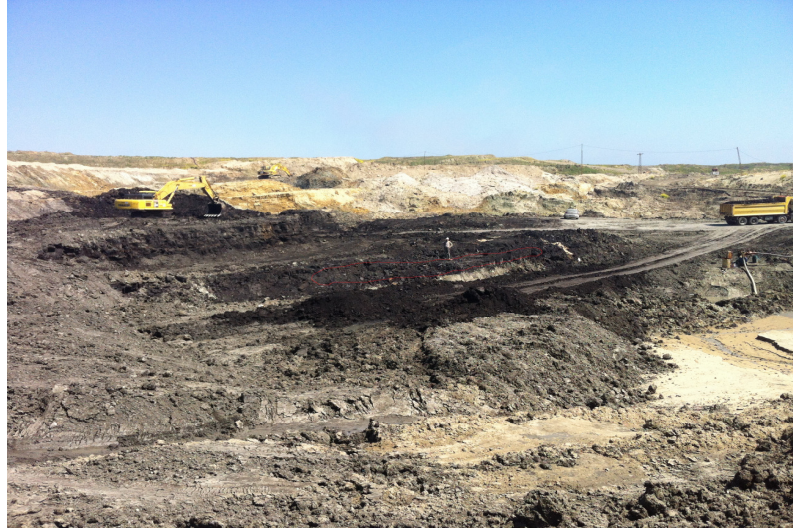
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Kullanılan Maddelerin Tanıtılması

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan maddelerin tanıtımına yer verilmiş, söz konusu maddelerin hazırlanma süreçlerinden ve karakterizasyonlarından bahsedilmiştir.

4.1.1 Kömür

Bu çalışma kapsamında kullanılan linyit kömürü, İstanbul Yeniköy’de yer alan Milten Müteahhitlik Hafriyat Tic. Ltd. Şti’ne ait maden sahasından (Şekil 4.1) temin edilmiştir.



Şekil 4. 1 İstanbul Yeniköy (Milten Müteahhitlik) maden sahası

Briketleme için uygun kömür örneğinin belirlenmesinde; öncelikle, ocakta farklı damarlardan tuvenan kömür örnekleri alınmış ve bu numuneler kimyasal analizlere

(nem, kül, uçucu madde, sabit karbon, ısı değeri ve kükürt analizleri) tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar (Şekil 4.2) ışığında, kullanılmaya uygun kömür damarının; kül ve kükürt içeriğinin nispeten düşük ve ısı değerinin yüksek olması sebebiyle, 1'lik kömür olduğu saptanmıştır. Ocaktan alınan 1'lik tuvenan kömür, sonrasında yıkama tesisine aktarılmış (Şekil 4.3), burada gravite yöntemine dayalı olarak gerçekleştirilen ağır ortam ayırması yöntemi ile yıkanıp, yapısındaki kil, mikst, şist gibi minerallerden arındırılmıştır. Yıkanmış kömür boyutlarına göre ayrıldıktan sonra, 0-20 mm parçacık boyutu ile kurutma tesisine gönderilmiştir.



Şekil 4. 3 Milten Müteahhitlik yıkama tesisi

Yaklaşık %40 nem içeriğine sahip, 0-20 mm parçacık boyutundaki kömür, tesiste döner fırına (Şekil 4.4) beslenmiş, fırın içerisinde 600°C'da 30 dakika süreyle kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Uygun nem oranına getirilen kömür, döner fırın çıkışında tekrar bir boyutlama işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem sonrasında, 0-3 mm ve 3-20 mm olmak üzere iki farklı parçacık boyutunda kömür elde edilmiştir.

Toz olan kısım (0-3 mm) briketleme çalışmalarında kullanılmak üzere ayrılmıştır. 3-20 mm boyutundaki kömür ise sanayiye gönderilmek üzere stoklanmıştır.

LOG	DAMAR ADI	DAMAR TANIMI	KALINLIK (m)	NEM (Moisture) %	KÜL / Ash (%)		UÇUCU MADDE / Volatile Matter		SABİT KARBON / Fixed carbon		TOPLAM KÜKÜRT / Total Sulphur	KÜLDE KÜKÜRT / Sulphur in ash	YANAR KÜKÜRT / Burnable Sulphur	ALT Kalori Değeri	ÜST Kalori Değeri						
					ORJİNAL KÜKÜRT	KÜKÜRT	ORJİNAL KÜKÜRT	KÜKÜRT	ORJİNAL KÜKÜRT	KÜKÜRT											
K	K	ÜST KÖMÜR	1,03	35,33	8,97	13,87	29,24	45,21	52,49	26,46	40,92	47,51	1,11	1,72	0,18	0,28	0,93	1,44	3294	5508	5666
L	L	KİL	0,48																		
M	M	20'LİK	0,25	34,33	8,38	12,76	29,50	44,92	51,49	27,79	42,32	48,51	2,48	3,77	0,35	0,54	2,12	3,23	3461	5667	5825
N	N	10'LİK	0,10	29,33	28,67	40,57	23,18	32,80	55,19	18,82	26,63	44,81	2,96	4,19	0,05	0,07	2,91	4,12	2219	3454	3612
O	O	60'LİK	0,72	36,00	9,12	13,89	29,37	44,72	51,93	27,18	41,39	48,07	1,40	2,13	0,25	0,38	1,15	1,75	3437	5630	5788
P	P	1'LİK	1,00	37,00	5,71	9,07	29,55	46,90	51,58	27,74	44,03	48,42	0,93	1,48	0,06	0,10	0,87	1,38	3372	5797	5955
R	R	40'LİK	0,45	36,00	7,55	11,79	28,81	45,01	51,03	27,65	43,20	48,97	2,28	3,56	0,36	0,57	1,91	2,99	3426	5779	5937
S	S	80'LİK	0,95	35,00	7,95	12,24	28,71	44,14	50,33	28,33	43,59	49,67	2,00	3,08	0,25	0,38	1,76	2,70	3425	5677	5835

Şekil 4. 2 Damar bazında yapılan tuvenan kömür analizleri



Şekil 4. 4 Milten Müteahhitlik kurutma tesisi döner fırını

4.1.1.1 Kömür Numunesinin Karakterizasyonu

Deneysel çalışmada kullanılacak 0-3 mm parçacık boyutundaki linyit kömürünün karakterizasyonu kapsamında öncelikle kısa analizi yapılmıştır. Milten Müteahhitlik Yeniköy Bölge Laboratuvarı'nda, U-therm YX-GY nem, kül, uçucu madde tayin cihazı (makro-TGA) kullanılarak gerçekleştirilen analiz öncesi, kömür numunesi etüvde 105°C'da sabit tartıma gelene dek bekletilmiş, tamamen kurutulduktan sonra 250 µm altına öğütülerek kullanıma hazır hale getirilmiştir. Kısa analiz ile elde edilen analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 0-3 mm boyutundaki kömüre ait analiz sonuçları

Analizler		Orjinal Kömür	Kuru Kömür	Kuru,Külsüz Kömür
Nem	%	16,33		
Kül	%	10,71	12,80	
Uçucu Madde	%	37,08	44,32	50,82
Sabit Karbon	%	35,88	42,89	49,18
TOPLAM	%	100,00	100,00	
Toplam Kükürt	%	1,46	1,74	
Külde Kükürt	%	0,18	0,21	
Yanar Kükürt	%	1,28	1,53	
Alt Kalori Değeri	cal/g	4494	5519	
Üst Kalori Değeri	cal/g	4750	5677	

Kömür numunesinin üst ısı değeri tayini ise yine Bölge Laboratuvarı'nda, U-therm YX-ZRA marka izoperibol kalorimetre kullanılarak, TS EN ISO 1928 standart test yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Alt ısı değeri sonucu, cihazdan elde edilen üst ısı değeri kullanılarak, hesaplama yöntemiyle bulunmuştur (Çizelge 4.1). Yöntem, suyun buharlaşma ısısının, üst ısı değerinden çıkarılması şeklinde uygulanmaktadır.

Kömür numunesinin elementel analiz çalışmaları; TÜBİTAK MAM EE'de, LECO Truspec CHN Elementel Analiz Cihazı kullanılarak yapılmıştır. Karbon (C), hidrojen (H) ve azot (N) içerikleri ASTM D 5373-02 standart test yöntemine göre belirlenmiş ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 Kömür örneğinin elementel analiz sonuçları

Analizler		Kuru Baz	Deney Yöntemi
Hidrojen (H)	%	4,74	ASTM D-5373
Karbon (C)	%	62,69	ASTM D-5373
Azot (N)	%	0,90	ASTM D-5373

Kömür numunesinin elek analiz çalışmaları kapsamında, Şekil 4.5'te gösterilen elek sarsma cihazı kullanılmış ve farklı çaplardaki uygun elekler ile fraksiyonlar belirlenmiştir.

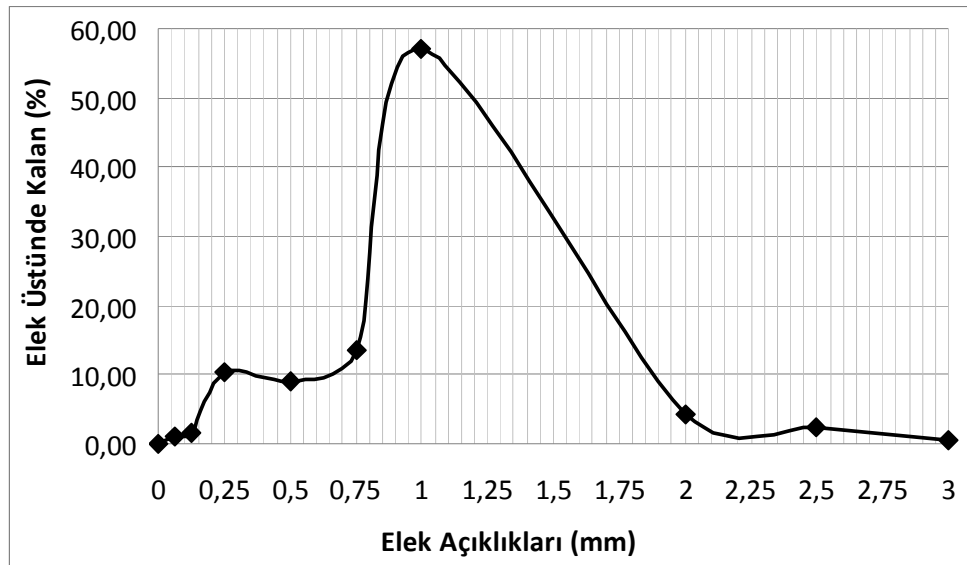


Şekil 4. 5 Elek analizinde kullanılan elek sarsma cihazı

Elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlardan yola çıkılarak elde edilen granülometri eğrisi sırasıyla; Çizelge 4.3'te ve Şekil 4.6'da verildiği gibidir.

Çizelge 4. 3 Kömür örneğinin elek analiz sonuçları

Elek Aralıkları (mm)	Elekte Kalan (gr)	Elekte Kalan (%)	Kümülatif Ağırlık (g)	Kümülatif Kalan (%)
3	3,44	0,46	3,44	0,46
2,5	17,13	2,28	20,57	2,74
2	32,00	4,27	52,57	7,01
1	429,00	57,20	481,57	64,21
0,75	102,00	13,60	583,57	77,81
0,5	67,00	8,93	650,57	86,74
0,25	78,00	10,40	728,57	97,14
0,125	12,00	1,60	740,57	98,74
0,063	8,62	1,15	749,19	99,89
0	0,81	0,11	750,00	100,00
TOPLAM	750,00	100,00		



Şekil 4. 6 Kömür örneğine ait granülometri eğrisi

0-3 mm parçacık boyutundaki Yeniköy linyitinin elek analiz sonuçları incelendiğinde; toz kömürün %64,21'inin 1 mm üzerinde toplandığı, geriye kalan %35,79 oranındaki kütlenin ise 1 mm altında farklı fraksiyonlarda dağıldığı görülmektedir. Ayrıca kömür örneğinin özellikle 250 µm altında oldukça düşük oranda (%2,86) bulunduğu belirlenmiştir.

4.1.2 Bağlayıcılar

Yeniköy linyit kömürünün briketleme çalışmaları kapsamında 4 farklı bağlayıcı kullanılmıştır. Bu bağlayıcılar; vinas, melas, şlempe ve hümkik asittir. Aşağıda bağlayıcılar ve özelliklerinden sırasıyla bahsedilmiştir.

4.1.2.1 Vinas

Vinas, evaporasyon prosesinin bir ürünüdür. Ruminantlar tarafından sevilen, hoş bir koku içermektedir. Muhafaza edildiği stok tanklarında özelliğini kaybetmeden kullanılacağı ana kadar saklanabilmektedir. Çizelge 4.4'te görüldüğü üzere vinas; %66,75 oranında kuru madde, %9,01 kül içeren, koyu kahverengi renkte akışkan bir sıvıdır.

Yapı kimyasalları sektöründe beton katkısı olarak, su azaltıcı ve akışkanlaştırıcı beton katkılarına bir girdi olarak da kullanılmaya başlayan vinas, tozlanmayı önlediği ve pelet yapışkanlığı sağladığı için briketleme işleminde bağlayıcı olarak tercih edilmiştir. Ürün, Pakmaya'dan sıvı dökme olarak alınmış ve briketleme işlemlerinde kullanılmıştır.

Çizelge 4. 4 Vinasa ait analiz sonuçları

Suda Çözünen Kuru Madde (%)	70	Toplam N (%)	6,56
Kuru Madde (%)	66,75	Ham Protein (%)	41
Kül (%)	9,01	Çözünür Protein (%)	95
pH	4,35	NPN (%)	2,77
K+ (%)	1,1	Renk (375nm)	0,504
Ca++ (%)	0,05	Metabolik Enerji (kcal/kg)	1900
Na (%)	1,1	NE Lactation (kcal/kg)	1190
P (%)	0,08	NE Gain (kcal/kg)	1000
Betain (%)	22,6	NE Maintenance (kcal/kg)	1460
Toplam Yağ (%)	0,1	TDN (%)	60
Protein Oranı	41-45	Yoğunluk (kg/m ³)	1,2-1,3
Renk	Koyu kahverengi	Viskozite Durumu	Akışkan

4.1.2.2 Melas

Briketleme işleminde ikinci bağlayıcı olarak melas tercih edilmiştir. Şeker fabrikalarında şeker pancarı ve şeker kamışı üretiminde, fabrikasyon kademesinde şekerin fabrikasyona geri alınamayan son şurubu olan melas; koyu kahve renkli, ortalama % 50 şeker ihtiva eden, yüksek viskoziteli (kıvamlı) bir kalıntıdır.

Şeker üretim prosesi neticesinde içerisinden artık daha fazla sakkaroz kristalize edilmesi masraf ve zaman ekonomisi açısından verimli olmayan melasa ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4. 5'te verildiği gibidir.

Çizelge 4. 5 Melasa ait kimyasal analiz sonuçları

Protein (%)	4,00
Kuru madde miktarı (%)	72,0
Kalsiyum (%)	0,90
Fosfor (%)	0,10
Potasyum (%)	2,50

Melas; hayvancılıkta (düşük sakkaroz oranlı melas), kömür sanayinde, gübre yapımında, yem üretiminde, maya fabrikalarında ve etil alkol üretiminde kullanılmaktadır. Briketleme çalışmalarında kullanılan melas, Alpullu Şeker Fabrikası'ndan tedarik edilmiştir.

4.1.2.3 Şlempe

Briketleme çalışmalarında kullanılan bir diğer bağlayıcı şlempe olmuştur. Şlempe; şeker fabrikasyonu yan ürünü olan melastan, fermentasyon yoluyla alkol üretimi sonucunda geri kalan kötü kokulu, koyu kahverengi sıvı bir atık maddedir.

Deneyisel çalışmalarda kullanılmak üzere Eskişehir Şeker Fabrikası'ndan temin edilen şlempeye ait analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Potasyum içeriği açısından zengin olan şlempe, tarımda ve özellikle örtü tarımında kullanılmaktadır. Zengin organik yapısı ile topraktaki mikrobiyal kabiliyeti hızlandırarak potasyum ihtiyacı olan topraklarda, diğer iz elementlerle de zenginleştirilerek damla sulama sistemi ile sıvı gübre olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 4. 6 Şlempeye ait kimyasal analiz sonuçları

Kuru Madde, Bx (%)	62,64
pH (20°C)	5,53
Yoğunluk (g/m ^l)	1,31
Organik madde (%)	40,7
Ham Protein Oranı (%)	17,88
Toplam Azot (%)	2,86
Potasyum (%)	7,2
Sodyum (%)	1,7
Kalsiyum (%)	1,4
Magnezyum (%)	0,7
Demir (%)	0,1
Sülfat (%)	1,3
Nem (%)	37,36

4.1.2.4 Hümik Asit

Briktleme çalışmalarında kullanılan son bağlayıcı hümik asittir. Hümik asit, 800 -1000 kcal/kg enerjiye sahip, kömür olarak değerlendirilemeyen genç linyit kömürlerinden elde edilmektedir. Bu proste nitrik asit oksidasyonu ve amonyaklama işlemleri önem taşımaktadır. TKİ kurumu Ilgın Linyit İşletmesi Müdürlüğü'nde üretilen ve briktlemede kullanılan hümik asite ait analiz sonuçları aşağıda gösterildiği gibidir (Çizelge 4.7). Hümik asitler günümüzde ucuz bir kaynak olarak birçok sektörde hızla kullanılmaya başlanmıştır. Bu sektörlerin başında tarım, çevre teknolojileri, sondaj teknolojileri, tutkal, boya, baskı mürekkepleri, kazan besi suyu şartlandırıcıları gibi kimya teknolojileri gelmektedir.

Çizelge 4. 7 Hümik asit analiz sonuçları

İçerik	% w/w
Toplam organik madde	5
Toplam (hümik+fölvik)	12
Suda çözünür potasyum	2
pH	11-13

4.1.3 Söndürülmüş Kireç

Briketleme çalışmalarında, baca gazına geçecek kükürt oranını düşürmek için, katkı maddesi olarak söndürülmüş kireç kullanılmıştır. Sönmemiş kirecin su ile söndürülmesiyle elde edilen söndürülmüş kireç (kalsiyum hidroksit), yanma sonucu açığa çıkan kükürt dioksit ile tepkimeye girerek sülfat halinde (CaSO_4) inorganik kalıntıya katılmaktadır.

Sönmüş kireç, akışkan ve toz formda olan, birçok amaç için kullanılabilen pratik ve verimli bir üründür. Kireç, madencilikte; bakır, çinko ve kurşun gibi cevherlerin flotasyonunda pH ayarlayıcı ve pirit bastırıcı olarak, inşaat sektöründe; yol yapımında killi zeminlerin stabilizasyonunda, gazbeton üretiminde ve harç ve sıva yapımında bağlayıcı olarak, kağıt sanayinde; atık sulardaki katıların çöktürülmesinde, filtrasyon yardımcısı olarak, alkol, kalsiyum lignosulfanatın geri kazanımında ve kimyasal üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca, baca gazı arıtma, içme suyu arıtma ve atık su arıtma işlemlerinde de kireçten faydalanılmaktadır.

Çizelge 4. 8 Söndürülmüş kirece ait analiz değerleri

Kimyasal Analiz	(%)
Ca(OH)_2	85
Toplam $\text{CaO}+\text{MgO}$	91
MgO	2
Çözünmeyen Madde (SiO_2 dahil)	2
SO_3	2
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,5
Kızdırma Kaybı	6
Serbest Su	2
Fiziksel Analiz	
200 μm (elek üstü, %)	0,8
90 μm (elek üstü, %)	5
Birim Hacim Kütlesi (kg/dm^3)	0,5

4.2 Deneylerde Kullanılan Cihazların Tanıtılması

Deneyisel çalışmalarda Milten Müteahhitlik Yeniköy Bölge Laboratuvarı'nda yer alan analiz cihazları kullanılmıştır. Bu cihazlar, özellikleri ve çalışma koşullarına dair detaylı bilgiler alt başlıklar halinde verilmiştir.

4.2.1 Isıl Değer Tayin Cihazı

Bir yakıtın birim kütlesinin tam olarak yakılması sonucu açığa çıkan ısı, o yakıtın ısı değeri olarak tanımlanmaktadır. Isıl değeri tayin etmede kullanılan en yaygın yöntem; yakıtın, oksijenle doldurulmuş olan, sabit hacimdeki kalorimetre bombası denilen elik bir kapta yakılması sonucu oluşan ısıнын ölçülmesi şeklinde uygulanmaktadır.

Numunelerin ısı değeri belirlenmesinde, şekil 4.7'de gösterildiği gibi U-therm YX-ZRA model kalorimetre cihazı kullanılmıştır. İzoperibol lm tekniğine göre çalışan cihaz, içerdiği dahili su sirkülasyon sistemi ile gerekli suyu otomatik olarak almaktadır. Cihaz içerisine yerleştirilen bombada oksijen basımı esnasında toz numunelerin dağılmasını engelleyici sabit koruyucu bir plaka bulunmaktadır. Ayrıca analiz sonrasında oluşan gazların bomba içerisinden tahliyesini sağlamada, kullanımı kolay, harici bir aparat kullanılmaktadır. 5-35°C ortam sıcaklığında ve %80 bağıl nemde çalışabilen kalorimetrede, analiz sonuçlarının kesinliği, belli periyotlarda yapılan kalibrasyonlar ve standart numunelerle yapılan doğrulamalar ile sağlanmaktadır.

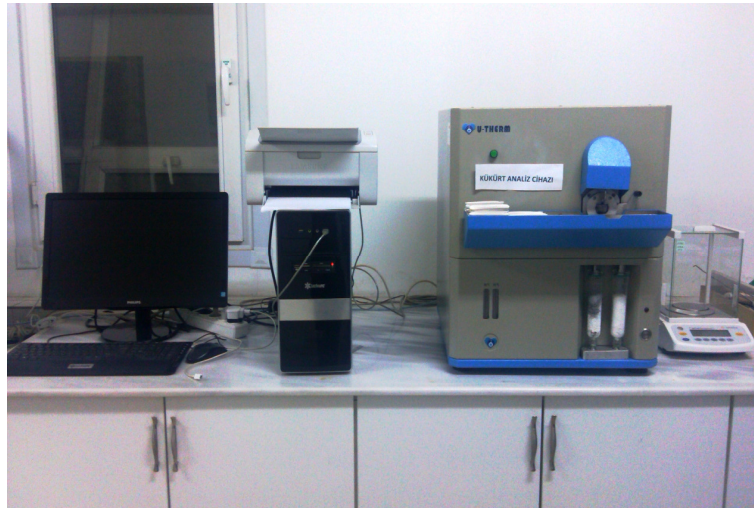


şekil 4. 7 Deneylerde kullanılan kalorimetre cihazı

Isıl değer tayini için, bomba içerisine 250 μm altına tlm homojen kömür numunesinden (kuru bazda) 1 g konmuş ve kap içerisine 3 MPa basınçta oksijen basılarak analiz gerçekleştirilmiştir. TS ISO 1928 standartına uygun olarak yapılan analiz sonucunda brüt (st) ısı değer sonucu elde edilmiştir. Suyun buhar fazında olması sebebiyle sahip olduğu ısıнын, brüt ısı değerden çıkarılmasıyla da alt ısı değer sonucu belirlenmiştir.

4.2.2 Kükürt Analiz Cihazı

Kömürde organik ve inorganik yapıda bulunan kükürt, kömürün yakılması sonucu kkrtdioksite dönüşmektedir. Atmosfere bırakılan bu kirletici gaz, hem hava kirliliğine sebep olmakta hem de belli bir seviyenin üzerine çıktığında (0,1 ppm) insan sağlığını tehdit edici boyuta ulaşmaktadır. Bu kapsamda kömürde kükürt oranının belirlenmesi oldukça önem taşımaktadır.



Şekil 4. 8 Deneylerde kullanılan kükürt tayin cihazı

Kömür rneklerinin kükürt oranının belirlenmesinde, U-therm YXDL-IR model kükürt analiz cihazı (ekil 4.8) kullanılmıştır. Kullanılan bu sistemde, numune 1350°C sıcaklıkta saf oksijen ortamında yakılarak, tüm kükürt formlarının (serbest, organik, sülfat ve piritik) SO_2 'ye dönüşmesi sağlanmaktadır. SO_2 gazı yoğunluğunun IR dedektör tarafından ölçülmesi sureti ile sonuç en hızlı (ortalama 180 saniye) ve kararlı bir şekilde belirlenmektedir. Cihaz, tamamen bilgisayar kontrollü olup, sonuçların ortalamasının alınması, standart sapma hesabı, relatif sapma gibi istatistiksel değerlerin

hesaplanmasına olanak tanımaktadır. Analiz sonuçlarının doğruluğu, düşük, orta ve yüksek kükürtlü standartlar kullanılarak, 3 noktalı kalibrasyonla sağlanmaktadır.

Kükürt analizinde kullanılan cihaza ait karakteristikler Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4. 9 Kükürt analiz cihazı karakteristikleri

Ölçüm Yöntemi	Infrared Absorbsiyon
Ölçme Aralığı	%0.01-10
Analiz Süresi	90-300 saniye
Numune Ağırlığı	0.2-0.25 g
Atmosfer	Oksijen (@2 bar)
Kimyasal Reaktif	Magnezyum Perklorat
Sıcaklık Aralığı	400-1350°C
Çalışma Ortamı	5-40°C ve <%80 rölatif nem

Kükürt analizi için, numune kayıkçığı içerisine kuru bazda ve -250 µm tane boyutundaki homojen kömür numunesinden yaklaşık 0.2 g konmuş ve analiz gerçekleştirilmiştir. ASTM D-4239 yöntemine uygun olarak yapılan analiz sonucunda toplam kükürt sonuçları elde edilmiştir. Baca gazına geçen kükürt oranı (yanabilir kükürt) analizinde ise hesap yöntemi kullanılmış, külde kükürt analizi bu işleme temel oluşturmuştur. Bu kapsamda, TGA cihazından 750°C’deki kül tayini sonrası elde edilen kül kalıntıları kullanılmıştır. Bu cihazdaki tek krozeden elde edilen kül numunesi yetersiz olduğu için çift numune ile çalışılmıştır. Kül cihazından alınan kül numuneleri ortam sıcaklığına soğutulmuş ve bir kap içerisinde homojen hale getirilmiştir. Bu analizde de toplam kükürt analizinin gerçekleştirildiği koşullar altında (1350°C) çalışılmıştır. Analiz sonrası elde edilen sonuç ve TGA cihazından alınan kül miktarı sonucu kullanılarak hesap yöntemiyle külde kükürt miktarı saptanmıştır. Toplam kükürt miktarı ile külde kükürt miktarı arasındaki hesaplama, denklem 4.1 ve 4.2’de gösterildiği gibidir:

A: Kuru Bazdaki Kül Oranı (%)

B: Cihazdan Okunan Külde Kükürt (%)

C: Külde Kükürt (%)

D: Toplam Kükürt (%)

E= Baca Gazına Geçen Kükürt Oranı (%)

$$C= A*B/100 \quad (4.1)$$

$$E= D-C \quad (4.2)$$

4.2.3 Nem, Kül, Uçucu Madde Cihazı (TGA)

Kömürün nem, kül ve uçucu madde içeriği, diğer bir ifadeyle kısa analizi, niteliğini belirlemede önem taşıyan faktörlerden biridir. Yeniköy linyitleri üzerinde yürütülen deneysel çalışmalarda kısa analizler Şekil 4.9'da gösterilen U-therm YX-GY model termal analiz cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 9 Deneylerde kullanılan nem-kül-uçucu madde tayin cihazı (TGA)

Cihaz, sıcaklık programlı ve kontrollü bir ortamda numunenin göstermiş olduğu ağırlık kaybı ile parametrelerin hesabı prensibine göre çalışmaktadır. Analiz esnasında numunelerin programlandıkları atmosfer ortamı içinde sürekli tartımı ile ağırlıkları alınmakta, kapak açılması ve diğer etmenler nedeni ile bozulmaya uğramamaktadır.

Kısa analiz için, nemi giderilerek, 250 µm tane boyutunun altına indirilmiş kömür numuneleri kullanılmıştır. Söz konusu numunelerden 1'er g kroze içerisine tartılarak sistem çalıştırılmıştır. İlk aşama olan nem analizinde; kömür numunesi 105°C'da, sabit tartıma gelene dek bekletilmiş ve bu şekilde bünye nemi değeri belirlenmiştir. Kömür bünyesindeki hafif molekül ağırlıklı bileşenlerin uzaklaşması temelinde gerçekleşen

uçucu madde tayini aşamasında ise ASTM D-3175 yöntemi uygulanmıştır. Bu aşamada, krozelerin kapakları kapatılarak hava ile temasları kesilmiş ve cihazın sıcaklığının 950°C'a çıkması sağlanmıştır. Numuneler bu sıcaklıkta, azot atmosferi altında 7 dakika bekletilmiş ve kütle kayıpları sistem yazılımı tarafından kaydedilerek uçucu madde oranları hesaplanmıştır.

Uçucu maddelerin çıkışı sonrasında geriye kalan sabit karbonun yanmasını ve arta kalan inorganik kalıntının (kül) belirlenmesini öngören son aşamada ise krozelerin üzerinde yer alan kapaklar çıkarılmış, sistem otomatik olarak azot akımını keserek, kuru hava beslemeye başlamıştır. Sonrasında cihaz 750°C'a değin soğutulmuş ve bu sıcaklıkta numunelerin kütleleri sabitlenene dek analiz sürdürülmüştür. Yakma sonrası geriye kalan kalıntının oranı sistem yazılımı tarafından otomatik olarak belirlenmiştir. Kül analizi, sistemde yüklü ASTM D-3174 yöntemine uygun olarak yürütülmüştür.

4.2.4 Briketleme Presi

Briketleme çalışmalarında Baz Makine firması tarafından üretilmiş hidrolik bir pres kullanılmıştır (Şekil 4.10). Laboratuvar ölçekli pres, maksimum 2000 kN kapasite ile çalışmaya imkan tanımaktadır.



Şekil 4. 10 Deneylerde kullanılan hidrolik pres

Bu presin tablaları arasına yerleştirilen, özel olarak imal ettirilmiş, 65 mm çapındaki silindirik bir kalıp (Şekil 4.11) yardımıyla briket üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 11 Briketlemede kullanılan silindirik kalıp

Endüstriyel ölçekteki briket üretimi ise; Milten Müteahhitlik bünyesinde, Şekil 4.12’de gösterilen pres yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ton bazında gerçekleştirilen üretimde, 250 barlık pres basıncı kullanılmış ve proses sonucunda yastık şeklinde briketler elde edilmiştir.

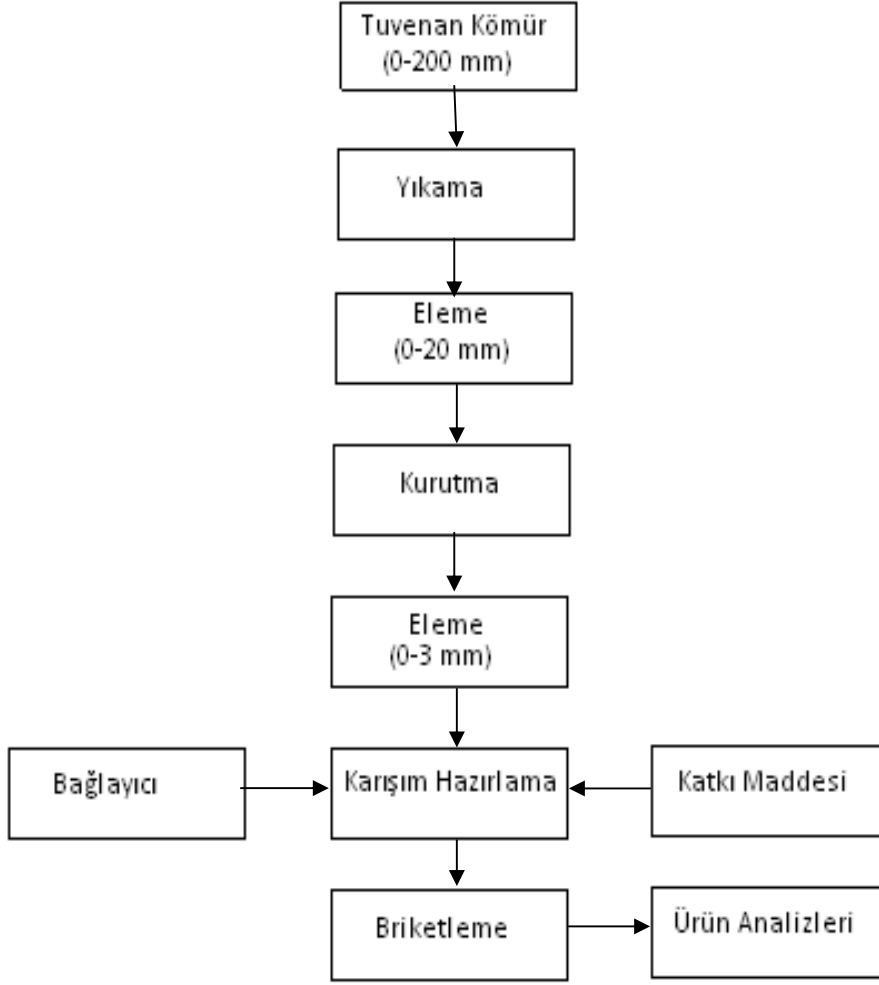


Şekil 4. 12 Milten Müteahhitlik briketleme tesisi ekipmanları

4.3 Kömür Briketleme İşlemi

Briketleme çalışmaları sırasında izlenen deneysel işlem aşamaları Şekil 4.13’te gösterilmiştir.

Briketleme çalışmalarında kullanılan Yeniköy linyitinin hazırlanma aşamalarına ve özelliklerine daha önceki bölümlerde değinilmişti. Bu bölümde, 0-3 mm tane boyutundaki toz kömürün briketlenme aşamaları ve koşulları detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 4. 13 Briketleme deneysel işlem aşamaları

- **Karışımın hazırlanması:** Yıkama ve kurutma işlemleri sonucunda elde edilen 0-3 mm boyutundaki toz kömür, laboratuvara getirildikten sonra etüvde 105°C’de 45 dakika süreyle kurutulmuştur. Yapılan bu ön kurutma işlemi ile, bağlayıcı eklendikten sonra artacağı düşünülen nem oranının, optimum seviyeye getirilmesi hedeflenmiştir. Ön ısıtma işlemi sonrasında kömürün, bağlayıcı ve katkı maddesi ile karıştırılarak yoğrulması aşamasına geçilmiştir. Toplam ağırlığı 100 g olacak şekilde hazırlanması düşünülen karışımda kullanılan bağlayıcı türleri, bağlayıcının kömürle karışım oranları ve elde edilen briketlerin özelliklerine dair bilgi Çizelge 4.10’da verilmiştir.

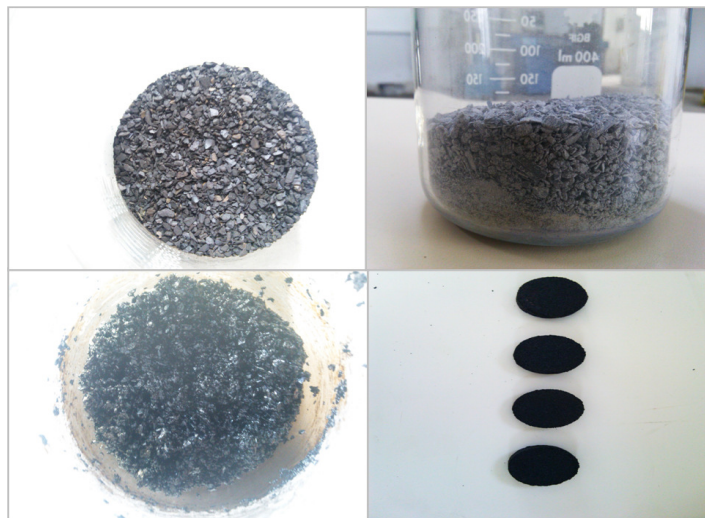
Buna göre uygun miktarda alınan kömür numunesi üzerine kükürt giderici olarak söndürülmüş kireç eklenmiş ve karıştırılmaya başlanmıştır. Manuel olarak gerçekleştirilen bu işlem, kireç, kömür yüzeyini tamamen kaplayana dek sürdürülmüştür (Şekil 4.14.b).

Çizelge 4. 10 Briketleme koşulları ve özellikleri

Bağlayıcı Türü	Vinas, melas, şlempe ve hümik asit
Bağlayıcı Oranı (%)	10, 12, 14, 16, 18 ve 20
Kireç Oranı (%)	1, 2, 3
Briketleme Basıncı (ton)	200
Briket Ağırlık (g)	100
Briket Şekli	Silindirik

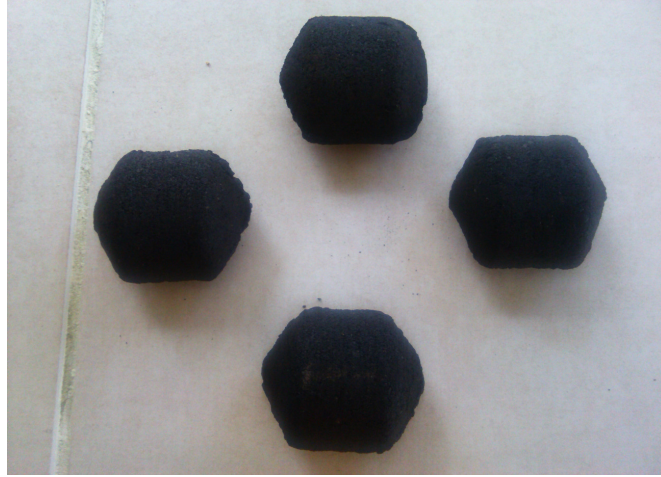
Diğer yandan bağlayıcı olarak kullanılan malzeme (vinas, melas, şlempe ve hümik asit), akışkan özellik kazanana kadar belli bir sıcaklıkta (80°C) ısıtılmıştır. Vinas diğer bağlayıcılara oranla daha akışkan olduğu için ısıtma süresi kısa tutulmuştur. Bu süre, yoğunlukları nispeten yüksek olan hümik asit ve melas için daha uzun sürmüştür. Isıtma işlemi sonrasında akıcı kıvama getirilen ve etkinlik kazanan bağlayıcı, kömür-kireç karışımı üzerine dökülmüş ve karıştırma işlemi başlatılmıştır. Yaklaşık 10 dakika süreyle, bağlayıcı, kömürün yüzeyine tümüyle yayılana kadar ve homojen bir karışım elde edene dek karıştırma işlemi devam etmiştir (Şekil 4.14.c).

• **Briketleme işlemi:** Karıştırma işlemi sonrasında briketleme aşamasına geçilmiştir. Bu safhada, karışımın soğumasına izin verilmemiş, bulamaç halindeki karışım direkt olarak kalıp içerisine dökülerek prese yerleştirilmiştir. Hidrolik preste kalıba 200 ton basınç uygulanmıştır. Uygulanan pres basıncına karar verilirken, hem literatürde yapılan önceki çalışmalar, hem de endüstriyel ölçekli üretim göz önünde bulundurulmuştur. İşlem sonucunda silindirik şekilde briketler elde edilmiştir (Şekil 4.14.d).



Şekil 4. 14 Laboratuvar ölçekli briketleme işlemi

Endüstriyel ölçekli üretimlerde kullanılan kalıba göre, yumurta, yastık, silindirik, tetrahedral ve dikdörtgen gibi farklı şekillerde üretilebilen briketler, laboratuvar ölçekli bu çalışma kapsamında kullanılan kalıba bağlı olarak silindirik olarak üretilmiştir. Bu işlem, briketleme tesisinde benzer şekilde gerçekleştirildiğinde ise evsel kullanıma daha uygun yastık şeklinde briketler üretilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4. 15 Tesiste üretilmiş yastık şeklindeki briketler

- **Briketlerin kurutulması:** Presleme işlemi tamamlanan briketler için kurutma aşamasına geçilmiştir. Kurutma işlemi, atmosferik şartlarda ve yaklaşık 2 saat süreyle gerçekleştirilmiştir.
- **Briketlerin analizi:** Briketler kurutulduktan sonra analiz aşamasına geçilmiştir. Briketlerin TS 12055 standartına uygun olup olmadıkları, gerçekleştirilen kimyasal analizler ve mekanik testler ile belirlenmeye çalışılmıştır.

4.4 Briketlere Uygulanan Dayanım Testleri

Yeniköy linyiti kullanılarak üretilen briketlerin dayanım testleri TS 12055 standartına göre yapılmış ve kullanılabilirlikleri değerlendirilmiştir.

4.4.1 Aşınma Sağlamlığı Testi

Briketlerin aşınma sağlamlığı testleri Şekil 4.16'da gösterilen tambur kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney numunesi içerisinde rastgele seçilen briketlerin uzun

ekseninin orta noktasından, bu eksene dik olan en uzun boyutu kumpas kullanılarak ölçülmüş, bu ölçümlerin ortalaması alınarak briketlerin ortalama boyutu bulunmuştur.



Şekil 4. 16 Aşınma sağlamlığı testinde kullanılan tambur

Hazırlanmış numuneler tambura yerleştirilmiş, 25 devir/dakika hızda, toplam 100 devir yapacak şekilde 4 dakika süreyle döndürülmüştür. Bu işlem tamamlandıktan sonra tambur içindeki briketler bir kaba boşaltılmış ve elek analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde kullanılan elek çapları; 5 mm, 10 mm, 16 mm, 20 mm, 25 mm, 31.5 mm, 40 mm, 50 mm, 63 mm ve 71 mm'dir. Elek analizi bitiminde her bir elek üzerinde kalan kütleler tartılmış ve denklem 4.3 ve 4.4'e göre hesaplama yapılmıştır.

$$l_{ort} = \frac{\sum_{i=0}^{\lambda+1} c_i l_{ort,i}}{100} \quad (4.3)$$

$$\text{Aşınma Sağlamlığı (\%)} = \frac{l_{ort}}{l} \times 100 \quad (4.4)$$

Formüldeki;

λ = Elek sayısı

l_{ort} = Numunenin aşınma sağlamlığı deneyinden sonraki ortalama tane boyu (mm)

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

$l_{ort,i}$ = i'inci ve i+1'inci eleklerin açıklıklarının ortalaması (mm)

4.4.2 Kırılma Sağlamlığı Testi

Briketlerin kırılma sağlamlığı testleri Şekil 4.17’de gösterilen Baz makine marka hidrolik pres kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 17 Kırılma sağlamlığı testinde kullanılan paralel levhalı pres

Şekil ve görünüm açısından homojen olan, kırılmamış ve bölünmemiş briketler rastgele alınarak deney numunesi olarak ayrılmıştır. Briketler presin paralel iki levhasının arasına yerleştirilmiş, briketin kırılma noktası, presin uyguladığı yükü gösteren yazılım ile belirlenmiştir. Deney sonucunda elde edilen kırılma sağlamlığı değerlerinin ortalaması alınarak kaydedilmiştir.

4.4.3 Düşme Sağlamlığı Testi

Briketlerin, özellikle, yüksek bir yerden boşaltılacağı durumlar için, kırılmaya karşı göstereceği direnci göreceli olarak ölçen düşme sağlamlığı testi, TS 12055 standardında verildiği şekilde; briket numunesinin, 30cm x 30cm x 30 cm boyutundaki bir kutuya (Şekil 4.18) yerleştirilip, 120 cm'lik yükseklikten tabana düşürülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Aynı işlem numune 6 kez aynı yükseklikten düşecek şekilde tekrar edilmiştir.



Şekil 4. 18 Düşme sağlamlığı testinde kullanılan cihaz

Deney sonrasında elde edilen numune bir kaba alınmış ve aşınma sağlamlığı testine benzer şekilde elek analizine tabi tutulmuştur. Elek analizi sonrasında, eleklerin üzerinde kalan kütleler tartılmış, denklem 4.5 ve 4.6 kullanılarak düşme sağlamlıkları tespit edilmiştir.

$$l_{ort} = \frac{\sum_{i=0}^{\lambda+1} c_i l_{ort,i}}{100} \quad (4.5)$$

$$\text{Düşme Stabilesi (\%)} = \frac{l_{ort}}{l} \times 100 \quad (4.6)$$

Formüldeki;

λ = Elek sayısı

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

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

$l_{ort,i}$ = i'inci ve i+1'inci eleklerin açıklıklarının ortalaması (mm)

4.4.4 Suya Dayanım Testi

Briketlerin suya mukavemetleri; su dolu bir kap içerisine bırakılmaları ve suda dağılmaları arasındaki sürenin tespitiyle bulunmuştur.

DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA

Briketleme; kullanılan toz kömürün yapısı ve özellikleri, kullanılan bağlayıcı türü ve oranı, presleme basıncı ve süresi, kömürün kurutulması ve ısıtma işlem görmesi gibi parametrelerin etkili olduğu bir süreçtir. Bu çalışma kapsamında, farklı türde ve oranda bağlayıcılar kullanılarak, bu bağlayıcıların, briketlerin kimyasal analizleri ve mekanik sağlamlıkları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Briketleme prosesinin temelini oluşturan, briketlerin ısıtma davranışları ve yanmaları üzerinde oldukça önemli bir rol oynayan hammadde ve katkı maddelerinin oranlarının belirlenmesine yönelik yürütülen çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada; çevre kirliliğine sebep olması ve insan sağlığını olumsuz etkilemesi nedeniyle önem arz eden, kömürdeki kükürt oranını düşürmede etkin bir rol oynayan, kireç miktarını belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda, bağlayıcı oranı sabit tutulmuş (%18), kireç oranı ise %1, %2 ve %3 değerlerinde kullanılarak briketler hazırlanmış ve analiz sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. İkinci aşamada kireç oranı belirlenmiş (%3) karışımın, bağlayıcı oranı değişken parametre olarak alınmış ve %10, %12, %14, %16, %18 ve %20 oranlarında bağlayıcı kullanılarak briket üretimi sağlanmıştır. Her bir bağlayıcı için ayrı ayrı yürütülen bu çalışmalardan elde edilen analiz sonuçları alt başlıklar halinde verilmiş, bölüm sonunda elde edilen sonuçlar hem bağlayıcı oranı bazında hem de analizler bazında genel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca ticari olarak uygulanabilirliği olan briketleme prosesi için maliyet analizi yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen veriler baz alınarak belirlenen optimum değerler ile yapılan endüstriyel ölçekteki üretime ait sonuçlar da bu bölüm içerisinde verilmiştir.

5.1 Farklı Bağlayıcılarla Yapılan Briketleme Çalışmaları

Briketleme çalışmalarında, kömür tozlarını bir arada tutan, istenilen özellikte ve mukavemette ürün elde edilmesine olanak sağlayan bağlayıcılar, oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Bu bölümde ilk olarak maya endüstrisi yan ürünü olan vinas ile gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmiş, ardından diğer bağlayıcılar, melas, şlempe ve hümk asitin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar aktarılmıştır.

5.1.1 Vinas ile Gerçekleştirilen Çalışmalar

Vinas kullanılarak gerçekleştirilen briketleme çalışmalarında, kireç oranının değişken olarak kabul edildiği aşamada kullanılan karışım oranları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Bu oranlar kullanılarak hazırlanan briketlerin kısa analiz sonuçları ve ısı değer sonuçları ise Çizelge 5.2’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5. 1 Vinasla hazırlanan briketlerin karışım oranları

Kireç Oranı (%)	Vinas Oranı (%)	Kömür Oranı (%)
1	18	81
2	18	80
3	18	79

Çizelge 5. 2 Vinas katkılı briketlerin farklı kireç oranlarındaki analiz sonuçları

Kireç (%)	Nem (%)	Kül (%)		Uçucu Madde (%)		Sabit Karbon (%)		Üst Isıl Değer (cal/g)		Alt Isıl Değer (cal/g)	
		Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.
1	12,24	15,17	13,31	50,43	44,26	34,40	30,19	5192	4556	5034	4325
2	13,07	15,36	13,35	51,10	44,42	33,54	29,16	5266	4578	5108	4341
3	13,15	15,41	13,38	51,43	44,67	33,16	28,80	5284	4589	5126	4352

Çizelge 5.2’de de görüldüğü üzere, farklı oranlarda kireç kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda, artan kireç oranına bağlı olarak briketlerin nem, kül ve uçucu madde değerlerinde düşük oranda bir artış meydana gelmiş, ancak sabit karbon oranında tersi bir seyir gözlenmiştir. Buna sebep olarak, karışımdaki kömür oranının azaltılması ve dolayısıyla yanabilecek kütlede de azalması gösterilebilir. Briketlerin ısı değerleri incelendiğinde, gerek brüt ısı değeri olarak tanımlanan üst ısı değeri, gerekse alt ısı değeri, kısa analiz değerlerindeki benzer şekilde artış gösterdiği belirlenmiştir. Alt

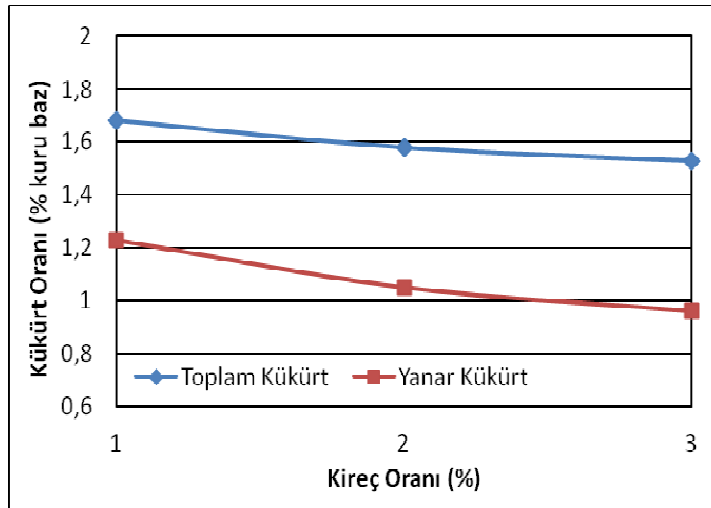
ısı değer sonuçlarının tümü standartta belirtilen sınır değer (orjinal bazda 4000 cal/g) üzerinde değerler almıştır.

Briketleme işleminde kullanılan kireç oranının artmasına bağlı olarak toplam kükürt ve yanar kükürt oranlarında da azalma meydana gelmiştir (Çizelge 5.3). %1 kireç katkılı brikette baca gazına geçen kükürt oranı (yanar kükürt) %1,23 iken, bu oran %3 kireç katkılı brikette %0,96'ya kadar azalmış ve TS 12055 standartında yer alan ve sınır değer olarak belirlenen %1'in altına düşürülmüştür. Kükürt oranındaki bu azalma, söndürülmüş kirecin yanma sonucu açığa çıkan SO₂'yi külde sülfat halinde tutmasıyla açıklanabilir.

Çizelge 5. 3 Vinas katkılı brikette kireç oranına bağlı kükürt oranları

Kireç (%)	Toplam Kükürt (%)		Yanar Kükürt (%)	
	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.
1	1,68	1,47	1,23	1,08
2	1,58	1,37	1,05	0,91
3	1,53	1,33	0,96	0,83

Farklı miktarda kireç kullanılarak üretilen briketlerin toplam kükürt ve yanar kükürt oranlarındaki değişimin grafiksel gösterimi Şekil 5.1'de verildiği gibidir.



Şekil 5. 1 Vinas katkılı brikette farklı kireç miktarlarında kükürt oranlarının değişimi

Kireç oranlarının değişken olarak kabul edildiği ilk etap çalışmalarında, tüm analiz sonuçları birlikte değerlendirilerek uygun kireç oranına karar verilmiştir.

Bu aşamada kül değeri sınırlayıcı parametre olmuştur. Kireç kullanılarak kükürt oranı düşürülmek istenirken, bir yandan da kül oranında az da olsa bir artış meydana gelmiştir. Bu artış göz önünde bulundurularak kireç oranı %3'te sabitlenmiştir. Böylece hem kükürt oranı düşürülerek standartta belirtilen sınır değer altına inilmiş, hem de kül oranı uygun seviyede kalmıştır.

Vinasla gerçekleştirilen ikinci aşama çalışmalarında bağlayıcı oranının analizler üzerindeki etkisini izleyebilmek ve uygun miktarı belirleyebilmek için, vinas oranı %10 ve %20 aralığında tutulmuş, %2 artışla briket üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca vinas kullanılarak elde edilen briketler ön denemelere temel oluşturduğu için ara değerlerde de (%15, %17 ve %19) briketler üretilerek inceleme yapılmıştır.

Kısa analiz sonuçları

Vinas kullanılarak elde edilen %3 kireç katkılı briketlerin, kısa analiz sonuçları ve kalorifik değerleri Çizelge 5.4'te, analiz sonuçlarındaki değişimin, kuru ve orjinal bazda grafiksel olarak gösterimi ise sırasıyla Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te görüldüğü gibidir.

Çizelge 5. 4 Vinas kullanılarak elde edilen briketlerin analiz sonuçları

Vinas (%)	Nem (%)	Kül (%)		Uçucu Madde (%)		Sabit Karbon (%)		Üst Isıl Değer (cal/g)		Alt Isıl Değer (cal/g)	
		Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.
10	12,08	15,35	13,5	49,42	43,45	35,23	30,97	5344	4698	5186	4468
12	13,83	15,63	13,47	49,71	42,84	34,66	29,87	5204	4484	5046	4243
14	13,04	15,20	13,22	49,99	43,47	34,81	30,27	5264	4578	5106	4341
15	13,98	15,22	13,09	50,52	43,46	34,26	29,47	5300	4559	5142	4317
16	12,76	14,57	12,71	51,31	44,76	34,12	29,77	5295	4619	5137	4385
17	12,88	15,55	13,86	50,87	44,32	33,58	29,25	5141	4479	4983	4244
18	13,15	15,41	13,38	51,43	44,67	33,16	28,80	5284	4589	5126	4352
19	13,36	15,50	13,43	52,01	45,06	32,49	28,15	5185	4492	5027	4254
20	14,28	15,44	13,24	51,99	44,57	32,57	27,92	5257	4506	5099	4263

Farklı oranlarda vinas içeren briketlerin nem oranlarının; %12 ile %14,3 aralığında değerler aldığı görülmektedir. %10 vinas eklenerek hazırlanan briketin %12,08 ile en düşük nem içeriğine sahip olduğu, %20 vinasla yapılan briketin ise %14,28 ile en yüksek nem değerine sahip olduğu göze çarpmaktadır. Briket haline getirilmemiş, 0-3 mm

parçacık boyutundaki toz kömürün nem içeriğinin %16,33 olduğundan önceki bölümlerde bahsedilmişti. 45 dakika süreyle ısıtılma tabi tutulan ve ardından %33,25 oranında nem içeren vinas eklenerek briket haline getirilmiş kömürün nemi, ilk haline göre düşüş göstermiştir. Buna sebep olarak, toz kömüre uygulanan ısıtılma işlem ve vinasın karışıma eklenmeden önce 80°C’da bir süre ısıtılması gösterilebilir. Böylece farklı oranlarda vinas eklenerek elde edilen briketlerin, yanmayı olumsuz yönde etkileyecek oranda nem içermemesi sağlanmış ve değerler belirgin farklılıklar göstermemiştir (Şekil 5.2.a).

Briketlerin yanması üzerinde etkili bir diğer parametre olan kül oranlarına bakıldığında; artan vinas oranına bağlı olarak, hem kuru bazda hem de orjinal bazda belirgin bir artış veya azalma meydana gelmediği belirlenmiştir (Şekil 5.2.b ve Şekil 5.3.b). Kül değerlerinin kuru bazda %14,50 ile %15,65 aralığı arasında değişim gösterdiği, %16 vinas katkılı briketin %14,57 ile en düşük kül miktarına sahip olduğu, %12 vinas katkılı briketin ise %15,63 ile en yüksek kül içerikli ürün olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında, briket haline getirilmeden önce %12,80 (kuru bazda) oranında kül içeren toz kömürün, briketlenmesiyle birlikte kül içeriğinin artış gösterdiği görülmektedir. Kömürün yanmasını olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde oluşan bu artışın nedeni, kömürdeki kükürt oranını kontrol altına almak üzere briket karışımına eklenen katkı maddesi kireçtir. Kireç, oluşan kükürt emisyonlarını bünyesine alarak sülfat haline dönüştürmekte, oluşan bu sülfat küle geçmekte ve kül oranını bir miktar da olsa arttırmaktadır.

Kömür bünyesindeki düşük molekül ağırlıklı bileşenlerin ayrılması esasına göre belirlenen uçucu madde içerikleri incelendiğinde; kuru bazda %49,4 ile %52 oranları arasında değişen değerler aldıkları görülmektedir. Uçucu madde oranları Şekil 5.2.c ve Şekil 5.3.c’de de görüldüğü üzere, %10 vinas katkılı briketten başlayarak %16 vinas içeren briketeye değin artış göstermiş, sonrasında çok fazla bir değişim göstermeden azalma ve artma şeklinde ilerleyen bir seyir izlemiştir. Briketleme işleminde hammadde olarak kullanılan toz kömürün uçucu madde içeriği %44,32 iken bu oran vinas eklenerek üretilen briketlerde yaklaşık %5-6 civarında artış göstermiş, ancak bu artış kömürün ısıtılma verimini etkileyecek düzeyde gerçekleşmemiştir.

Briketlerin sabit karbon içerikleri, uçucu madde oranlarına göre farklı bir davranış sergilemiş, vinas oranının artmasıyla düşüş göstermiştir. %10'dan başlayarak %20'ye kadar arttırılan vinas oranına bağlı olarak, briketlerin sabit karbon oranları maksimum %3'lük bir düşüşe uğramıştır. Sabit karbon içeriği en yüksek olan briket; %35,23 (kb) ile %10 vinas içeren briket iken, en düşük oranda sabit karbon içeriğine sahip ürün; %32,49 (kb) ile %19 vinas katkılı briket olmuştur. Sabit karbon oranındaki bu azalma, artan vinas oranına bağlı olarak, karışımda yer alan toz kömür oranının düşürülmesi ile açıklanabilir.

Briketlerin kalori değerlerini yansıtan grafikler (Şekil 5.2.f ve Şekil 5.3.f) incelendiğinde, değerlerin stabil olmadığı, farklı vinas oranlarında oldukça değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Üst ısı değerinden yabancı ısıların çıkarılmasıyla elde edilen ve pratikte kömürlerin değerlendirilmesinde baz alınan alt ısı değerlerin tümü, TS 12055'teki gibi orjinal bazda 4000 cal/g'dan yüksek değerler vermiştir. Kömür oranı diğerlerine göre fazla olan %10 vinas içerikli briket en yüksek alt ısı değere (4468 cal/g) sahipken, %12 vinas içeren briketin kalori değeri 4243 cal/g'da kalmıştır. Alt ısı değerler, briketlerin nem oranları ve karışıma katkı maddesi olarak eklenmiş kirecin oranı optimum değerde tutulduğu için çok fazla düşüş göstermemiştir.

Briketlerin toplam kükürt ve yanar kükürt oranları, genel olarak vinas oranının artışıyla düşme eğiliminde bulunmuştur. Toplam kükürt değerleri kuru bazda %1,50 ile %1,77 aralığında değişim gösterirken, yanar kükürtte bu aralık %0,96 - %1,12 olarak saptanmıştır. Briketlemede kullanılan toz kömürün toplam kükürt değeri %1,74 iken, bu değer briket haline getirilmiş kömürlerde farklılık göstermiştir. Briket kömür içerisine katılan ve baca gazına geçen kükürt oranını standartta belirtilen değere (kuru bazda %1) çekmek üzere kullanılan kireç, analiz sonuçlarına olumlu etkiye bulunmuştur. Kükürt, kireç bünyesine katılarak sülfat haline dönüştürülmüş ve böylece yanar kükürt oranı azalma göstermiş, külde kükürt oranı ise aksine artmıştır. Çizelge 5.5'te yer alan yanar kükürt giderme oranları, kömürün toz haldeki yanar kükürt oranı (%1,53 kb) baz alınarak hesaplanmıştır. Buna göre, kömürün briket haline getirilmesiyle yanar kükürt oranındaki en büyük düşüş; %37,25 ile hem %18 vinas içeren brikette, hem de %20 vinas katkılı brikette meydana gelmiştir. Bu azalmanın en düşük oranda (%26,80) gözlemlendiği briketler, %10 ve %12 vinas içeren briketler olmuştur.

Çizelge 5. 5 Vinas kullanılarak elde edilen briketlerin kükürt analiz sonuçları

Vinas (%)	Toplam Kükürt (%)		Külde Kükürt (%)		Yanar Kükürt (%)		Yanar Kükürt Azalma Oranları (% Kuru Baz)
	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	
10	1,64	1,44	0,52	0,46	1,12	0,98	26,80
12	1,77	1,53	0,65	0,56	1,12	0,97	26,80
14	1,64	1,43	0,54	0,47	1,10	0,96	28,10
15	1,62	1,39	0,53	0,46	1,09	0,94	28,76
16	1,53	1,33	0,47	0,41	1,06	0,92	30,72
17	1,51	1,32	0,46	0,40	1,05	0,91	31,37
18	1,53	1,35	0,57	0,50	0,96	0,85	37,25
19	1,53	1,33	0,55	0,48	0,98	0,85	35,95
20	1,50	1,29	0,54	0,46	0,96	0,82	37,25

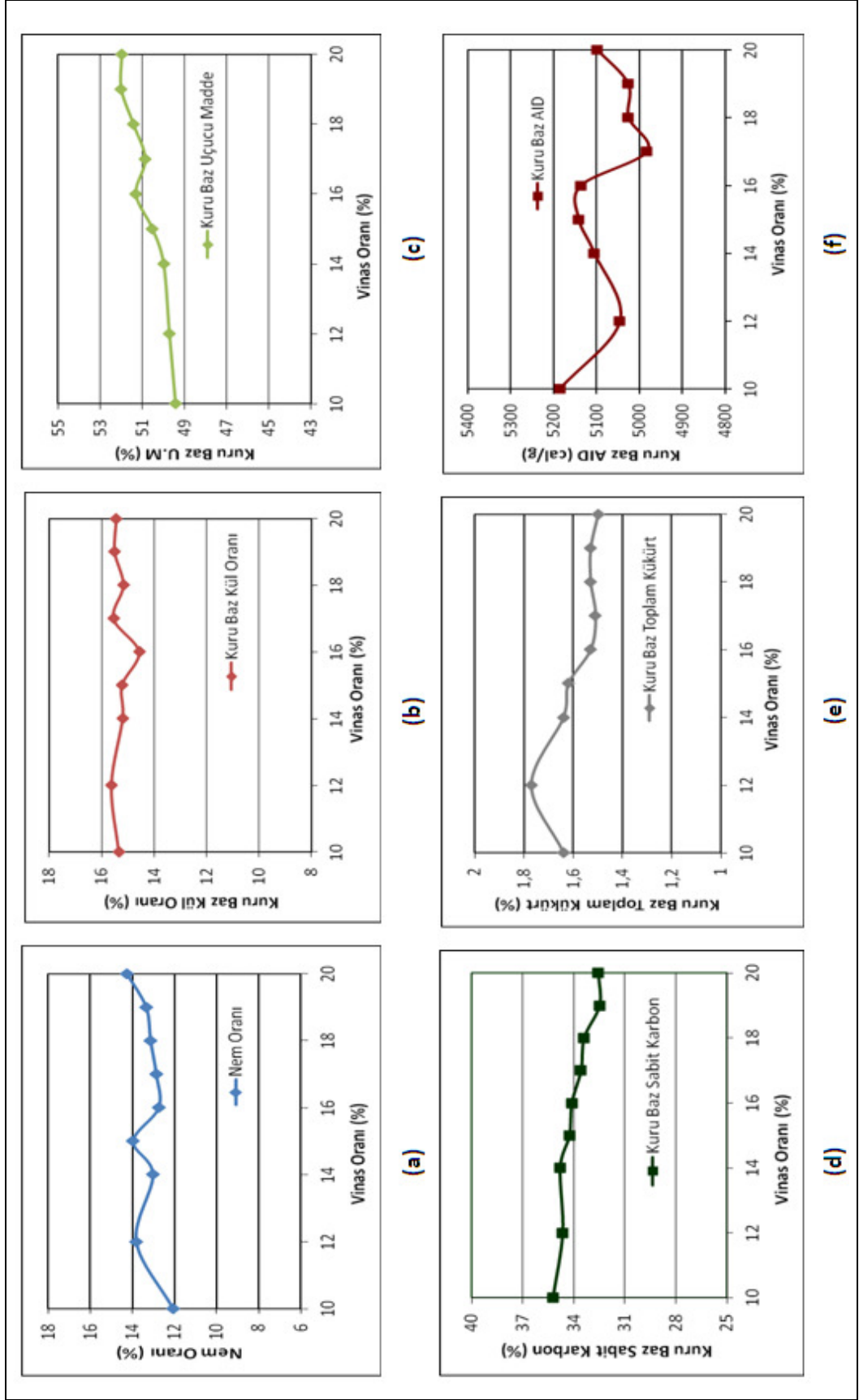
Briketlerin dayanım testleri

Bağlayıcı olarak eklenen vinasın karışımdaki oranının artışının, briketlerin dayanımı üzerine etkileri; aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı, düşme sağlamlığı ve suya dayanım testleri ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

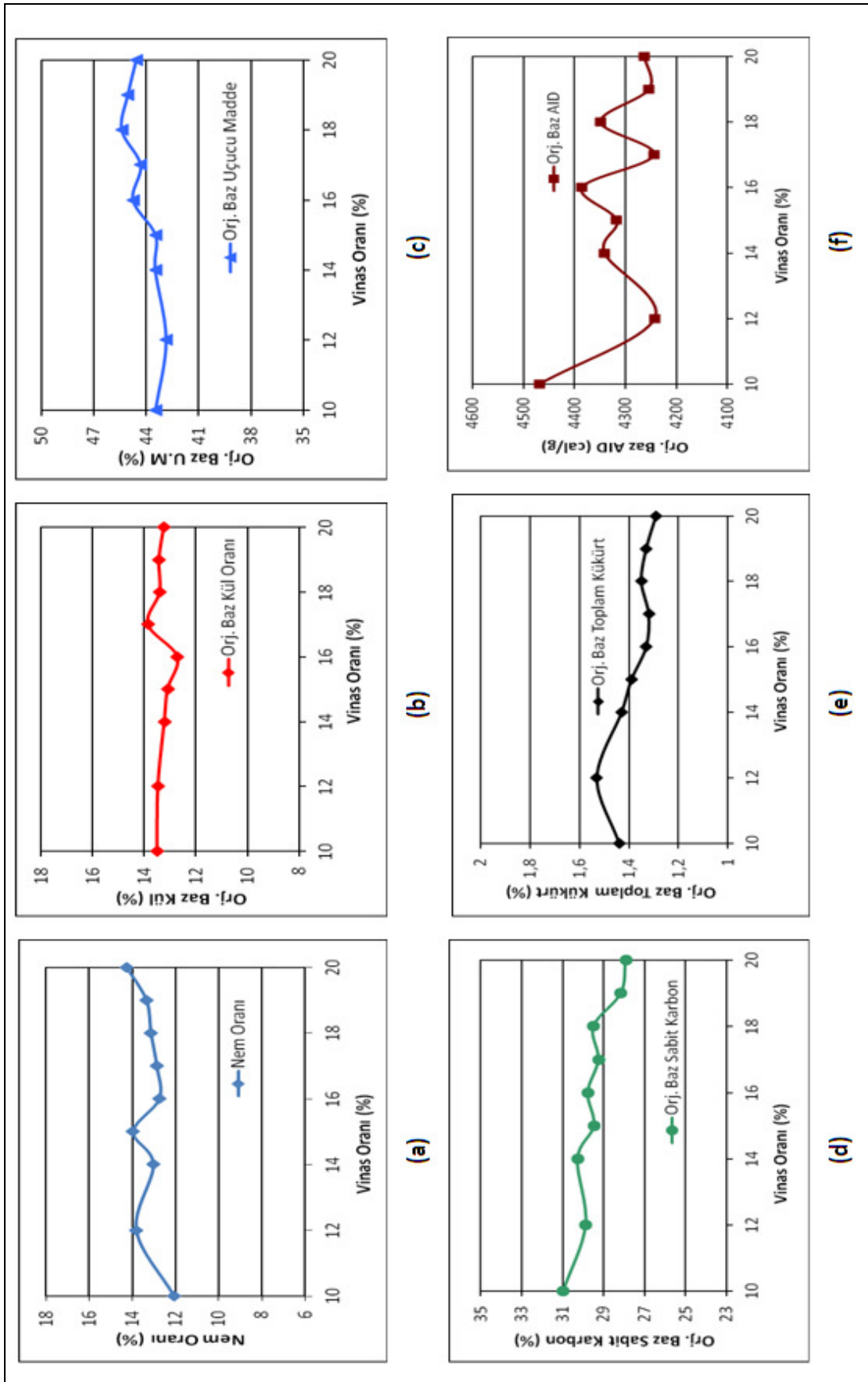
- **Aşınma sağlamlığı:** Vinas kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlıkları TS 12055'te belirtilen yöntemle göre saptanmış ve Çizelge 5.6'da toplu olarak gösterilmiştir. Aşınma sağlamlığı hesaplamasına örnek teşkil etmesi açısından, %10, %14 ve %18 oranında vinas içeren briketlerin elek analizleri ve formülasyonda yer alan parametreler Çizelge 5.7, 5.8 ve 5.9'da sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 5. 6 Farklı vinas oranlarındaki aşınma sağlamlığı deney sonuçları

Briket Vinas Oranı (%)	Aşınma Sağlamlığı (%)
10	76
12	76
14	78
15	80
16	81
17	81
18	80
19	82
20	85



Şekil 5. 2 Farklı vinas oranlarında yapılan briketlerin kuru bazdaki analiz değişimleri



Şekil 5. 3 Farklı vinas oranlarında yapılan briketlerin orjinal bazdaki analiz değişimleri

Çizelge 5. 7 %10 vinas kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları

Elek Açıklıkları	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%), C_i	$l_{ort,i}$	$l_{ort} = (\sum C_i * l_{ort,i}) / 100$	Aşınma Sağlamlığı (%) $= (l_{ort} / l) * 100$
71 mm	0,00	0,00	68,41	0,00	76
63 mm	0,00	0,00	67,00	0,00	
50 mm	83,00	86,46	56,50	48,85	
40 mm	0,00	0,00	45,00	0,00	
31,5 mm	0,00	0,00	35,75	0,00	
25 mm	0,00	0,00	28,25	0,00	
20 mm	0,00	0,00	22,50	0,00	
16 mm	0,00	0,00	18,00	0,00	
10 mm	0,00	0,00	13,00	0,00	
5 mm	3,00	3,13	7,50	0,23	
TAVA	10,00	10,42	2,50	0,26	
TOPLAM AĞIRLIK	96,0				

Çizelge 5. 8 %14 vinas kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları

Elek Açıklıkları	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%), C_i	$l_{ort,i}$	$l_{ort} = (\sum C_i * l_{ort,i}) / 100$	Aşınma Sağlamlığı (%) $= (l_{ort} / l) * 100$
71 mm	0,00	0,00	68,41	0,00	78
63 mm	0,00	0,00	67,00	0,00	
50 mm	87,00	88,78	56,50	50,16	
40 mm	0,00	0,00	45,00	0,00	
31,5 mm	0,00	0,00	35,75	0,00	
25 mm	0,00	0,00	28,25	0,00	
20 mm	0,00	0,00	22,50	0,00	
16 mm	0,00	0,00	18,00	0,00	
10 mm	0,00	0,00	13,00	0,00	
5 mm	4,00	4,08	7,50	0,31	
TAVA	7,00	7,14	2,50	0,18	
TOPLAM AĞIRLIK	98,0				

Çizelge 5. 9 %18 vinas kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları

Elek Açıklıkları	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%), Ci	$l_{ort,i}$	$l_{ort} = (\sum c_i * l_{ort,i}) / 100$	Aşınma Sağlamlığı (%) $= (l_{ort} / l) * 100$
71 mm	0,00	0,00	68,41	0,00	80
63 mm	0,00	0,00	67,00	0,00	
50 mm	85,00	91,40	56,50	51,64	
40 mm	0,00	0,00	45,00	0,00	
31,5 mm	0,00	0,00	35,75	0,00	
25 mm	0,00	0,00	28,25	0,00	
20 mm	0,00	0,00	22,50	0,00	
16 mm	0,00	0,00	18,00	0,00	
10 mm	0,00	0,00	13,00	0,00	
5 mm	3,00	3,23	7,50	0,24	
TAVA	5,00	5,38	2,50	0,13	
TOPLAM AĞIRLIK	93,0				

Sonuçlardan da görüleceği üzere, vinas oranındaki artış, briketlerin aşınma sağlamlıkları üzerinde pozitif bir etki yaratmıştır. Buna göre, bağlayıcı oranı düşük oranda kullanıldığında (%10) aşınma sağlamlığı en düşük değerini (%76) alırken, bağlayıcı oranının maksimum oranda kullanıldığı %20 vinas içerikli briketin en yüksek aşınma sağlamlığı değerini (%85) aldığı belirlenmiştir.

Aşınma sağlamlığı değerlerinde gözlenen artış; karışımda yükselen vinasın, oranı azalan kömür taneciklerinin yüzeyini tamamen kaplaması ve uygulanan yeterli basınçla, mekanik olarak sağlam briketlere dönüştürülmesiyle açıklanabilir. Briketlerin aşınma sağlamlığı sonuçları, TS 12055'te yer alan Sınıf 1 ve Sınıf 2 briketlerin sınır değerlerini (Çizelge 3.1) karşılayacak kalitede çıkmıştır.

- **Kırılma sağlamlığı:** Briketlerin taşıma veya depolama esnasında yük altında kaldıkları zaman gösterecekleri direnci belirlemek üzere yapılan kırılma sağlamlığı test sonuçları Çizelge 5.10'da gösterildiği gibidir.

Briketlerin kırılma sağlamlığı sonuçları incelendiğinde; en yüksek kırılma sağlamlığı değerine 84,7 kgf ile %18 vinas içeren brikette ulaşıldığı, en düşük değer (79,2 kgf) ise %12 vinas katkılı brikette çıktığı göze çarpmaktadır. Genel olarak vinas oranındaki artış

kırılma sağlamlığı değerlerini olumlu yönde etkilemiş, değerler 79-85 kgf arasında değişiklik göstermiştir. Ancak söz konusu değerler, TS 12055'te yer alan ve tabanı düzgün geometrik şekilli olarak tanımlanan briketlerin sınır değerlerini karşılayacak nitelikte çıkmamıştır.

Çizelge 5. 10 Farklı vinas oranlarındaki kırılma sağlamlığı deney sonuçları

Vinas Oranı (%)	Ağırlık (g)	Basınç (kgf)
10	92	80,0
12	94	79,2
14	92	82,1
15	93	83,5
16	94	81,1
17	92	82,8
18	94	84,7
19	95	83,6
20	91	82,1

• **Düşme sağlamlığı:** TS 12055 standartında yer alan yönteme uygun olarak belirlenen düşme sağlamlığı değerleri (Çizelge 5.11), aşınma sağlamlığı değerlerine benzer şekilde vinas oranının arttırılmasıyla artış göstermiştir. Shatter indeks olarak da tanımlanan düşme sağlamlığı oranları, %10 vinas içeren brikette minimum değerini (%71) alırken, %20 vinas ile hazırlanan brikette maksimum oranda (%82) çıkmıştır. Bütün veriler birlikte incelendiğinde; briketlerin piyasaya arz edilmelerinde önemli bir yer tutan düşme sağlamlığı değerlerinin, %18 ve üzerinde vinas içeren briketlerde standartta yer alan koşulları karşıladığı belirlenmiştir.

Çizelge 5. 11 Farklı vinas oranlarındaki briketlerin düşme sağlamlığı deney sonuçları

Briket Vinas Oranı (%)	Düşme Sağlamlığı (%)
10	71
12	73
14	73
15	75
16	77
17	78
18	80
19	80
20	82

- **Suya dayanım:** Briketler su içerisine bırakıldıktan sonra dağılmaları ve bünyelerine su alma durumları incelenmiştir. Vinas içeren briketlerin dağılmaya başladığı ilk an suya dayanım süresi olarak belirlenmiş ve kaydedilmiştir (Çizelge 5.12). Sonuçlardan da görüleceği gibi, briket yapısındaki vinas oranının artışına paralel olarak, suya dayanım süresinde de artış meydana gelmiştir.

Çizelge 5. 12 Farklı vinas oranlarındaki briketlerin suya dayanım süreleri

Briket Vinas Oranı (%)	Suya Dayanım Süresi
10	7 dak 29 sn
12	8 dak 25 sn
14	12 dak 13 sn
15	16 dak 31 sn
16	18 dak 5 sn
17	18 dak 16 sn
18	20 dak 9 sn
19	24 dak 11 sn
20	26 dak 2 sn

%10 vinas içeren briketin dayanım süresi 7 dak 29 sn iken, bu süre %20 vinas katkılı brikette 26 dakika 2 sn'ye kadar yükselmiştir. Ancak yükseliş göstermesine rağmen bu süreler, briketlerin suya dayanımlarının iyi olmadığını ortaya koymaktadır. Suya dayanımı bulunmayan bu briketlerin piyasaya arzında nemden ve sudan etkilenmeyecek özellikteki lamineli torbalardan faydalanılmalıdır.

5.1.2 Melas ile Gerçekleştirilen Çalışmalar

Briketleme işlemi için uygun bağlayıcıyı belirlemek üzere gerçekleştirilen çalışmalarda ikinci bağlayıcı olarak melas tercih edilmiştir. Melasla yürütülen deneysel işlemlerde de ilk olarak kireç oranı değişken olarak seçilmiş, bağlayıcı oranı sabit tutulmuştur (Çizelge 5.13).

Çizelge 5. 13 Melasla hazırlanan briketlerin karışım oranları

Kireç Oranı (%)	Melas Oranı (%)	Kömür Oranı (%)
1	18	81
2	18	80
3	18	79

Kireç oranının briketlerin kimyasal analizleri üzerindeki etkisi Çizelge 5.14'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 5. 14 Melas katkılı briketlerin farklı kireç oranlarındaki analiz sonuçları

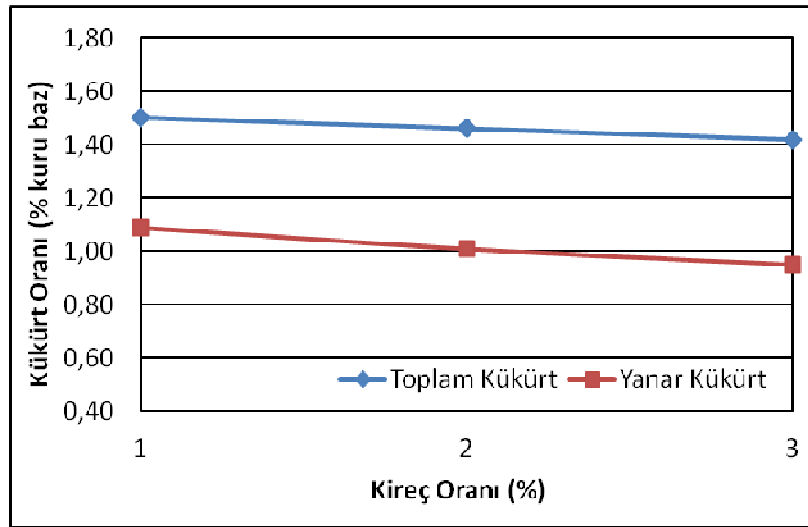
Kireç (%)	Nem (%)	Kül (%)		Uçucu Madde (%)		Sabit Karbon (%)		Üst Isıl Değer (cal/g)		Alt Isıl Değer (cal/g)	
		Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.
1	12,69	14,11	12,32	51,12	44,63	34,77	30,36	5401	4716	5243	4481
2	12,96	14,33	12,47	51,46	44,79	34,21	29,78	5382	4684	5224	4449
3	12,63	14,70	12,84	51,68	45,15	33,63	29,38	5312	4641	5154	4407

Briket karışımına eklenen kireç oranının arttırılmasıyla analiz sonuçları da farklılık göstermiştir. Buna göre, briketlerin kül ve uçucu madde oranları, artan kireç oranıyla birlikte yükselirken, sabit karbon oranı ve ısı değer sonuçlarında azalma meydana gelmiştir. Briket üretimi laboratuvar ölçekli olduğu için bu değişimler minimal seviyelerde oluşmuştur. Kül oranları incelendiğinde; kireç oranı 2 katına çıkarıldığında, kül oranında %0,22'lik bir artış olduğu, kireç oranı ilk duruma göre 3 kat arttırıldığında ise %0,59'luk bir yükselme olduğu belirlenmiştir. Uçucu madde oranlarında oluşan artışlar ise sırasıyla %0,34 ve %0,56 olarak hesaplanmıştır. Karışımındaki kömür oranının azaltılmasına bağlı olarak sabit karbon oranında meydana gelen azalmalar, diğer analizlerde olduğu gibi düşük seyirlerde izlenmiştir. Kireç oranı 2 kat arttırıldığında söz konusu azalma %0,56 iken, bu oran 3 katına çıkarıldığında azalma %1,14 olarak saptanmıştır. Karışımında artan kireç oranı, kül oranının artmasına sebep olduğu için, briketlerin yanma sonrası açığa çıkardıkları ısı miktarlarında düşüş oluşmuştur. Ancak bu düşüşler, diğer analiz parametrelerinde olduğu gibi kömürün yanma kalitesini olumsuz olarak etkileyecek düzeyde meydana gelmemiştir.

Çizelge 5. 15 Melas katkılı brikette kireç oranına bağlı kükürt oranları

Kireç (%)	Toplam Kükürt (%)		Yanar Kükürt (%)	
	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.
1	1,50	1,31	1,09	0,95
2	1,46	1,27	1,01	0,88
3	1,42	1,24	0,95	0,83

Farklı miktarda kireç kullanılarak üretilen briketlerin toplam kükürt ve yanar kükürt oranlarındaki değişim incelendiğinde, artan kireç oranına bağlı olarak, bu değerlerde beklendiği üzere düşüş olduğu saptanmıştır (Şekil 5.4). %1 kireç katkılı briketin toplam kükürt oranı %1,5 iken, bu değer %3 kireç kullanılarak üretilen briket örneğinde %1,42'ye inmiştir. Baca gazına geçen kükürt olarak da bilinen yanar kükürt oranlarında da benzer şekilde azalma meydana gelmiş, kireç oranı maksimum oranda (%3) kullanıldığında değerler %1,09'dan, %0,95'e kadar düşürülmüştür (Çizelge 5.15).



Şekil 5. 4 Melas katkılı brikette farklı kireç miktarlarında kükürt oranlarının değişimi

Aynı miktar melas, farklı miktarda kireç kullanılarak üretilen briketlerin analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde; vinas katkılı brikette olduğu gibi ve beklendiği üzere kükürt oranlarında azalma olduğu ve değerlerin standartın öngördüğü seviyeye indirildiği belirlenmiştir. Kül oranında oluşan artış kayda değer olmadığından ve briketin yanma verimini etkilemeyecek düzeyde gerçekleştiği için göz ardı edilmiştir. Sonuç olarak, melas kullanılarak üretilecek briketlere eklenecek kireç oranının %3 olmasına karar verilmiştir.

Uygun kireç oranının belirlenmesinin ardından, melas oranlarının değişimlerinin briketler üzerindeki etkisinin izleneceği aşamaya geçilmiştir. Bu safhada melas oranı %10, %12, %14, %16, %18 ve %20 oranlarında kullanılmış ve toz kömürün briketlenme performansı araştırılmıştır.

Kısa analiz sonuçları

Farklı oranlarda melas kullanılarak elde edilen %3 kireç katkılı briketlerin kısa analiz ve ısı değeri analiz sonuçları Çizelge 5.16'da, bu sonuçlar kullanılarak elde edilen grafikler ise kuru ve orjinal bazda sırasıyla Şekil 5.5 ve 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5. 16 Melas kullanılarak elde edilen briketlerin analiz sonuçları

Melas (%)	Nem (%)	Kül (%)		Uçucu Madde (%)		Sabit Karbon (%)		Üst Isıl Değer (cal/g)		Alt Isıl Değer (cal/g)	
		Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.
10	11,32	14,52	12,88	47,89	42,47	37,59	33,33	5378	4769	5220	4543
12	14,89	14,75	12,55	49,89	42,46	35,36	30,09	5293	4505	5135	4258
14	13,32	15,48	13,42	49,89	43,24	34,63	30,02	5173	4484	5015	4246
16	11,70	14,60	12,89	50,03	44,18	35,37	31,23	5397	4766	5239	4537
18	12,63	14,70	12,84	51,68	45,15	33,63	29,38	5312	4641	5154	4407
20	11,83	14,32	12,63	51,52	45,43	34,16	30,12	5268	4645	5110	4416

Melas kullanılarak hazırlanan briketlerin nem oranları %11,3 ile %14,9 arasında değişim göstermiştir. %10 melas kullanılarak hazırlanan briket minimum seviyede (%11,32) nem içeriğine sahipken, %12 melasla yapılan briketin, diğer briketlere göre maksimum oranda (%14,89) nem içerdiği belirlenmiştir. Şekil 5.5'te de görüldüğü gibi, bağlayıcı oranının artması ile nem değerleri stabil olarak veya sürekli artan-azalan şekilde ilerlememiş, farklılıklar göstermiştir. Ancak sonuç olarak briketlerin nem içerikleri yanma özelliklerini etkileyecek seviyede çıkmamıştır.

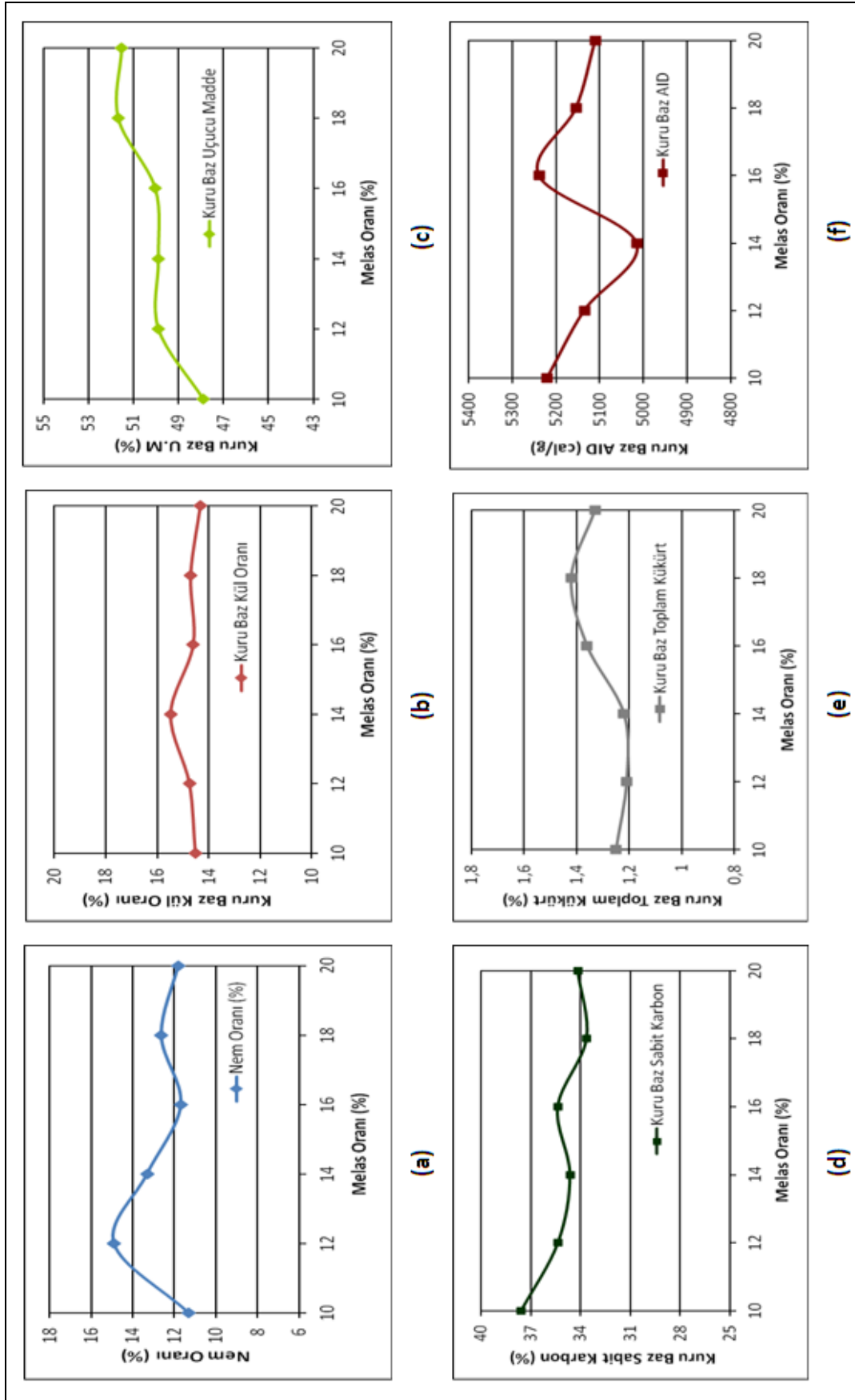
Briketlerin kül oranları incelendiğinde; %10 melas içeren briketten başlayarak, %14 melas içeren briket kadar kuru bazda bu değerin artış gösterdiği, sonrasında azalmaya başladığı (Şekil 5.5.b) görülmüştür. Briketlerin kül içerikleri, vinasla üretilen briketlere benzer olarak %14,30 ile %15,5 arasında değişiklik göstermiştir. Toz halinde bulunan Yeniköy linyitinin kül içeriğine (%12,80) kıyasla, briket haline getirilmiş durumdaki kömürün kül oranında yaklaşık %1,5-3 oranında artış meydana gelmiştir. Bu artış, daha önce de belirtildiği gibi briket karışımına eklenen kireçten kaynaklanmıştır ve briketin kalitesini olumsuz etkileyecek oranda meydana gelmemiştir.

Briketlerin bir diğerk kısa analiz parametresi olan uçucu madde oranları, Şekil 5.5.c ve Şekil 5.6.c'de de gösterildiğı gibi hem kuru bazda hem de orjinal bazda artış göstermiştir. Bu değerkler, %47,89'dan başlayarak, %51,52'ye kadar (Çizelge 5.16) yaklaşık %3,6'lık bir yükselme göstermiştir. Oluşan bu yükselme, briket karışımına eklenen melas oranının arttırılmasıyla açıklanabilir. Hammadde olarak kullanılan toz kömürün uçucu madde içeriğine bakıldığında (%44,32) da oluşan artışın melas kaynaklı olduğu göze çarpmaktadır.

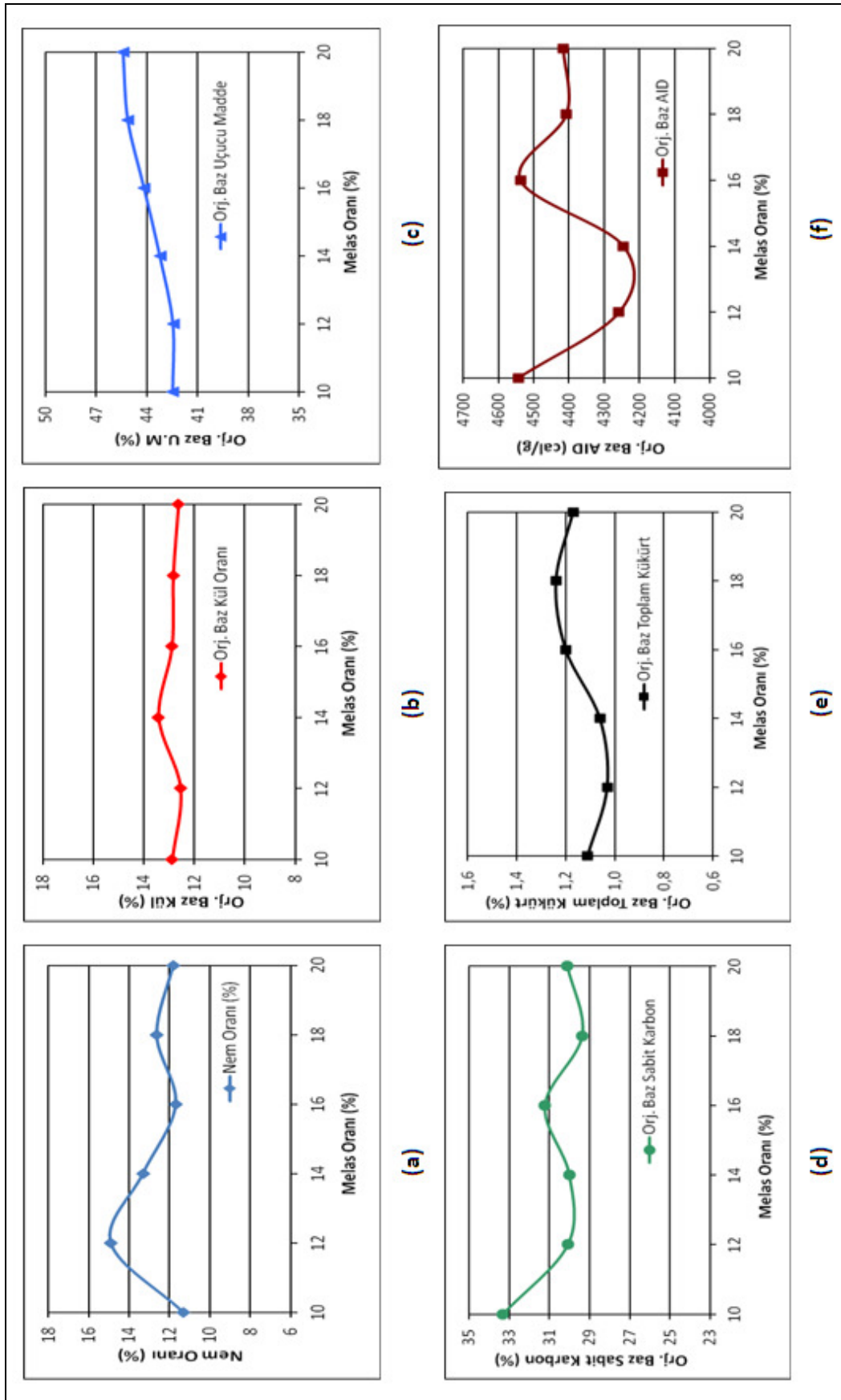
Briketlerin sabit karbon içerikleri, kül ve uçucu madde içeriğinden farklı olarak genelde azalma göstermiştir (Şekil 5.5.d). Buna sebep olarak, diğerk iki analiz parametresinin artışı gösterilebilir. Nem, uçucu madde içeriğı ve kül oranı toplamının, 100'den çıkarılmasıyla elde edilen bu değerk, diğerk bileşenler yükseldiğı için düşüş göstermiştir. Sabit karbon içeriğı en yüksek briket; kuru bazda %37,59 ile %10 melas içeren briket, en düşük olan ise %33,63 ile %18 melas katkılı briket olmuştur.

Briketlerin yanma sonucu açığa çıkan ısı değerklerini gösteren grafikler (Şekil 5.5.f ve Şekil 5.6.f) incelendiğinde, değerklerin değışken olduğu gözlenmiştir. Orjinal bazda ısı değeri 4000 cal/g üzerinde yer alan ve dolayısıyla standartın öngördüğü koşulu sağlayan briket kömürler, piyasaya arz edilecek niteliktedir. Melas kullanılarak hazırlanan bu kömürlerde en yüksek ısı değere (4543 cal/g) %10 bağlayıcı içeren brikette, en düşük ısı değere ise (4246 cal/g) %14 bağlayıcı içeren brikette ulaşılmıştır. Melas miktarının artan oranda kullanılmasının, karışım da azalan kömür miktarına bağlı olarak, ısı değeri negatif yönde etkilemesi beklenirken, %16 melas içeren brikette farklı bir durum söz konusu olmuştur. Bu ise hazırlanan briket karışımının homojen olmaması veya karışım oranlarında meydana gelmiş olması muhtemel hatalarla açıklanabilir.

Melas içerikli briketlerin kükürt analiz sonuçları Çizelge 5.17'de toplu olarak verilmiştir. Artan melas oranı bazında verilen sonuçlar incelendiğinde, değerklerin değışkenlik gösterdiği görölmektedir. Buna göre; toplam kükürt oranlarının, vinasla hazırlanan briketlere kıyasla daha düşük seviyede kaldığı ve kuru bazda %1,20 ile %1,42 arasında değışim gösterdiği saptanmıştır. Yanar kükürt için ise bu aralığın %0,95-%1,05 olduğu belirlenmiştir. %18 melas kullanılarak hazırlanan briketin toplam kükürt oranı, diğerk briketlere oranla yüksek (%1,42) iken, çevreye olumsuz etkisi bulunan yanar kükürtün



Şekil 5. 5 Farklı melas oranlarında yapılan briketlerin kuru bazdaki analiz değişimleri



Şekil 5. 6 Farklı melas oranlarında yapılan briketlerin orjinal bazdaki analiz değişimleri

tersi bir sonuç verdiği ve diğer briketlerden daha düşük seviyede çıktığı (%0,95) ortaya konmuştur. Kükürt oranlarına genel olarak bakıldığında, briketlemede hammadde olarak kullanılan toz kömürün, toplam kükürt (%1,74) ve yanar kükürt (%1,53) oranlarına göre daha düşük oldukları gözlenmiştir. Bu sonuç, karışıma eklenen kirecin olumlu etkide bulunduğu göstergesidir. Yine karışımda kullanılan toz kömürün yanar kükürt oranı (%1,53) temelinde yapılan hesaplamalara göre; melas oranının değişimine bağlı olarak briketlerin yanar kükürt oranlarındaki azalma da farklılık göstermiştir. Briketin melas oranı arttıkça, yanar kükürt azalma oranları yükselmiştir. Yanar kükürt oranındaki maksimum düşüş (%37,91) %18 melas içeren brikette meydana gelmiştir. TS 12055 standartının yanar kükürt limit değeri olan %1 değerine ise %16 ve üzerinde melas içeren briketlerde (%18 ve %20) ulaşılmıştır.

Çizelge 5. 17 Melas kullanılarak elde edilen briketlerin kükürt analiz sonuçları

Melas (%)	Toplam Kükürt (%)		Külde Kükürt (%)		Yanar Kükürt (%)		Yanar Kükürt Azalma Oranları (% Kuru Baz)
	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	
10	1,25	1,11	0,20	0,18	1,05	0,93	31,37
12	1,21	1,03	0,18	0,15	1,03	0,88	32,68
14	1,22	1,06	0,19	0,16	1,03	0,89	32,68
16	1,36	1,20	0,37	0,33	0,99	0,87	35,29
18	1,42	1,24	0,47	0,41	0,95	0,83	37,91
20	1,33	1,17	0,37	0,33	0,96	0,85	37,25

Briketlerin dayanım testleri

Melas kullanılarak hazırlanan briketlerin dayanım testlerine (aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı, düşme sağlamlığı ve suya dayanım) ait sonuçlar aşağıda verildiği gibidir.

- **Aşınma sağlamlığı:** Melas ilavesiyle elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı değerleri Çizelge 5.18’de verilmiştir. Bu çizelgeyi takiben verilen; Çizelge 5.19, Çizelge 5.20 ve Çizelge 5.21’de ise sırasıyla %10, %14 ve %18 oranlarında melas içeren briketlerin, aşınma sağlamlığını belirlemek üzere yapılan elek analizleri ve bunlar kullanılarak yapılan hesaplamalar gösterilmiştir.

Aşınma sağlamlığı sonuçları incelendiğinde; melas oranının artışına paralel olarak bu değerlerin de artış gösterdiği belirlenmiştir. %10 melas ile hazırlanan briket, en düşük aşınma sağlamlığı değerine (%74) sahipken, %20 melas içerikli briketin en yüksek sağlamlık değerine (%79) sahip olduğu saptanmıştır. %74 ile %79 arasında değişim gösteren aşınma sağlamlığı deney sonuçları, TS 12055'te yer alan sınır değerleri karşılayacak nitelikte çıkmıştır. Ancak söz konusu sonuçların, vinas kullanılarak üretilen briketlere oranla az da olsa düşük çıktığı gözlenmiştir. Bu ise bağlayıcıların bağlama yeteneklerinin farklı olması ile açıklanabilir.

Çizelge 5. 18 Farklı melas oranlarındaki aşınma sağlamlığı deney sonuçları

Briket Melas Oranı (%)	Aşınma Sağlamlığı (%)
10	74
12	75
14	75
16	76
18	77
20	79

Çizelge 5. 19 %10 melas kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları

Elek Açıklıkları	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%), C_i	$l_{ort,i}$	$l_{ort} = (\sum C_i * l_{ort,i}) / 100$	Aşınma Sağlamlığı (%) $= (l_{ort} / l) * 100$
71 mm	0,00	0,00	68,41	0,00	74
63 mm	0,00	0,00	67,00	0,00	
50 mm	81,00	84,38	56,50	47,67	
40 mm	0,00	0,00	45,00	0,00	
31,5 mm	0,00	0,00	35,75	0,00	
25 mm	0,00	0,00	28,25	0,00	
20 mm	0,00	0,00	22,50	0,00	
16 mm	0,00	0,00	18,00	0,00	
10 mm	0,00	0,00	13,00	0,00	
5 mm	4,00	4,17	7,50	0,31	
TAVA	11,00	11,46	2,50	0,29	
TOPLAM AĞIRLIK	96,0				

Çizelge 5. 20 %14 melas kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları

Elek Açıklıkları	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%), Ci	$l_{ort,i}$	$l_{ort} = (\sum ci * l_{ort,i}) / 100$	Aşınma Sağlamlığı (%) $= (l_{ort} / l) * 100$
71 mm	0,00	0,00	68,41	0,00	75
63 mm	0,00	0,00	67,00	0,00	
50 mm	82,00	85,42	56,50	48,26	
40 mm	0,00	0,00	45,00	0,00	
31,5 mm	0,00	0,00	35,75	0,00	
25 mm	0,00	0,00	28,25	0,00	
20 mm	0,00	0,00	22,50	0,00	
16 mm	0,00	0,00	18,00	0,00	
10 mm	0,00	0,00	13,00	0,00	
5 mm	4,00	4,17	7,50	0,31	
TAVA	10,00	10,42	2,50	0,26	
TOPLAM AĞIRLIK	96,0				

Çizelge 5. 21 %18 melas kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları

Elek Açıklıkları	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%), Ci	$l_{ort,i}$	$l_{ort} = (\sum ci * l_{ort,i}) / 100$	Aşınma Sağlamlığı (%) $= (l_{ort} / l) * 100$
71 mm	0,00	0,00	68,41	0,00	77
63 mm	0,00	0,00	67,00	0,00	
50 mm	84,00	88,42	56,50	49,96	
40 mm	0,00	0,00	45,00	0,00	
31,5 mm	0,00	0,00	35,75	0,00	
25 mm	0,00	0,00	28,25	0,00	
20 mm	0,00	0,00	22,50	0,00	
16 mm	0,00	0,00	18,00	0,00	
10 mm	0,00	0,00	13,00	0,00	
5 mm	2,00	2,11	7,50	0,16	
TAVA	9,00	9,47	2,50	0,24	
TOPLAM AĞIRLIK	95,0				

- **Kırılma sağlamlığı:** Farklı oranlarda melas kullanılarak elde edilen tabanı düzgün briketlerin, basınç altında verdikleri dayanım sonuçlarına bakıldığında; sonuçların 88,4 kgf ile 91,1 kgf arasında değişim gösterdiği görülmüştür (Çizelge 5.22). %14 melas

içeren briket ve sonrasında artan oranda melas eklenerek üretilen briketlerin kırılma mukavemetleri, bağlayıcı oranı ile paralel olarak artış göstermiştir. Briket standartında (TS 12055) yer alan limit değerlere nazaran düşük sonuçlar veren ve bu kıstası sağlayamayan melas içerikli briketlerin kırılmaya karşı mukavemetleri, vinas ile hazırlanan briketlere göre nispeten yüksek sonuçlar vermiştir.

Çizelge 5. 22 Farklı melas oranlarındaki kırılma sağlamlığı deney sonuçları

Melas Oranı (%)	Ağırlık (g)	Basınç (kgf)
10	93	90,2
12	94	90,0
14	95	88,4
16	95	89,2
18	96	90,3
20	98	91,1

• **Düşme sağlamlığı:** Melas kullanılarak elde edilen briketlerin, 120 cm yükseklikten düşürülmesiyle elde edilen düşme mukavemetleri Çizelge 5.23'te verildiği gibidir. Düşme sağlamlık değerlerine bakıldığında; artan melas oranı ile düşmeye karşı mukavemetin de yükseldiği görülmüştür. Buna göre %10 melas ile yapılan brikette bu değer %70 iken, melas oranının 2 kat arttırıldığı ve %20 olarak kullanıldığı brikette %81'e kadar çıkmıştır. Melasın sıcaklık etkisiyle akışkanlık kazanması, yüksek oranda kullanılmasıyla kömür yüzeyini tamamen kaplaması ve uygun basınçta preslenmesi ile açıklanabilecek bu olgu, düşük oranda melas kullanımının briket dayanımını negatif yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Melas oranının artmasıyla yükselen düşme mukavemet değerleri ile standart belirlediği limit değerler karşılaştırıldığında; yalnızca %20 melas katkılı briketin, Sınıf 2 briket (limit değer: %80) kapsamında değerlendirilebileceği saptanmıştır.

Çizelge 5. 23 Farklı melas oranlarındaki düşme sağlamlığı deney sonuçları

Briket Melas Oranı (%)	Düşme Sağlamlığı (%)
10	70
12	70
14	72
16	74
18	78
20	81

- **Suya dayanım:** Melas ile hazırlanan briketlerin suya mukavemet süreleri Çizelge 5.24'te verilmiştir. Genel olarak suya dayanım süreleri kısa olan melas içerikli briketlerin, su ve nemden kolaylıkla etkilenebileceği ortaya konmuştur. Melas oranının artmasına bağlı olarak yükselen dayanım süreleri, %10 melas katkılı brikette minimum değerini (7 dak 29 sn) alırken, %20 melas içeren brikette maksimum (26 dak 40 sn) değerle sonuçlanmıştır.

Çizelge 5. 24 Farklı melas oranlarındaki briketlerin suya dayanım süreleri

Briket Melas Oranı (%)	Suya Dayanım Süresi
10	7 dak 29 sn
12	9 dak 15 sn
14	12 dak 39 sn
16	16 dak 21 sn
18	19 dak 3 sn
20	26 dak 40 sn

5.1.3 Şlempe ile Gerçekleştirilen Çalışmalar

Farklı bağlayıcılar kullanılarak Yeniköy kömürünün briketlenme performansının değerlendirildiği çalışmada, üçüncü bağlayıcı olarak şlempe tercih edilmiştir. Vinas ve melas ile hazırlanan briketlerde olduğu gibi, öncelikle farklı kireç oranlarında çalışılmış, şlempe oranı sabit tutulmuştur. Bu kapsamda hazırlanan karışımlara ait oranlar Çizelge 5.25'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 25 Şlempe ile hazırlanan briketlerin karışım oranları

Kireç Oranı (%)	Şlempe Oranı (%)	Kömür Oranı (%)
1	18	81
2	18	80
3	18	79

Kireç oranları değiştirilerek elde edilen briketlerin kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde (Çizelge 5.26); nem ve kül değerlerinde beklendiği üzere az da olsa bir artış olduğu görülmüştür. Kireç oranı %1 iken kuru bazda %16,48 olan kül değeri, kireç oranı 2 kat arttırıldığında %0,04'lük bir artışla %16,52 değerine, 3 kat arttırıldığında ise %0,38'lik yükselme ile %16,86'ya çıkmıştır. Bu artışın sebebi; daha önceki bölümlerde

de belirtildiği gibi, kükürt oranını düşürmek için karışıma eklenen kirecin, yanma sonrası sülfat halinde inorganik matriste toplanmasıdır. Briketlerin uçucu madde ve sabit karbon içeriklerinde ise düzenli bir artış veya azalma meydana gelmemiştir. Kireç oranının artması ile uçucu madde oranında kuru bazda önce azalma, sonrasında ise artma gözlenmiştir. Sabit karbon içeriği ise kireç oranı 2 katına çıkarıldığında yükselmiş, sonrasında ise düşüş göstermiştir. Bu parametrelerdeki değişimin düzenli olmaması, briket karışımında yer alan kömürün homojenizasyonu ile ilgili sorun olabileceğini göstermiştir.

Briketlerin kalori değerleri, artan kireç oranına bağlı olarak bir miktar düşüş göstermiştir. Kireç oranı %1 alındığında; orjinal bazda 4287 cal/g olan ısı değeri, kireç oranı 2 kat yükseltildiğinde 84 cal/g'lık azalmaya uğramıştır. Kireç miktarı ilk duruma göre 3 katı oranında kullanıldığında ise bu düşüş 139 cal/g olmuştur. Ancak alt ısı değeri orjinal bazda her ne kadar azalma eğiliminde olsa da, sonuçlar standartta yer alan limit değeri (4000 cal/g) karşılayacak nitelikte çıkmıştır.

Çizelge 5. 26 Şlempe katkı briketlerin farklı kireç oranlarındaki analiz sonuçları

Kireç (%)	Nem (%)	Kül (%)		Uçucu Madde (%)		Sabit Karbon (%)		Üst Isıl Değer (cal/g)		Alt Isıl Değer (cal/g)	
		Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.
1	12,58	16,48	14,41	50,25	43,93	33,27	29,08	5171	4520	5013	4287
2	13,01	16,52	14,37	50,17	43,64	33,31	28,98	5103	4439	4945	4203
3	13,59	16,86	14,57	50,59	43,71	32,55	28,13	5078	4388	4920	4148

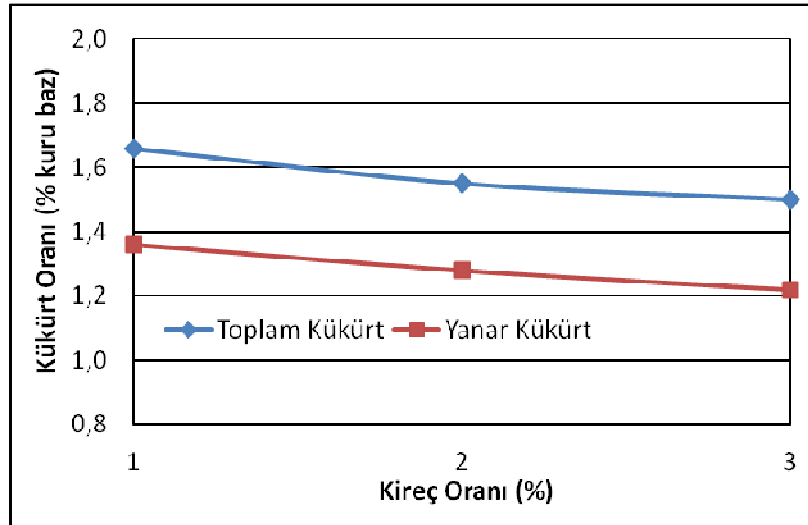
Kireç oranındaki değişimin, kükürt analiz sonuçları üzerindeki etkisi Çizelge 5.27'de gösterildiği gibidir. Toplam kükürt oranlarına bakıldığında; %1,66 ile %1,50 arasında değişim gösterdiği ve bu değişimin artan kireç oranına ters olarak azalan yönde ilerlediği gözlenmiştir. Aynı durum yanar kükürt oranları için de söz konusu olmuş, kireç oranının yükseltilmesiyle, briketlerdeki yanar kükürt oranları düşüş göstermiştir. Ancak kireç oranının maksimum kullanıldığı (%3) brikette dahi TS 12055 standartında öngörülen sınır değeri (%1 kb) sağlanamamış ve %1,22 değeri elde edilmiştir. Vinas ve melas içerikli briketlerde yanar kükürt oranı %1'in altına düşürülebiliyorken, şlempe ile hazırlanan briketlerde bu oranın yakalanamamasına sebep olarak; şlempenin yapısında bulunan sülfat (%1,3) gösterilebilir.

Çizelge 5. 27 Şlempe katkıli brikette kireç oranına bağlı kükürt oranları

Kireç (%)	Toplam Kükürt (%)		Yanar Kükürt (%)	
	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.
1	1,66	1,45	1,36	1,19
2	1,55	1,35	1,28	1,11
3	1,50	1,30	1,22	1,05

Şlempe ile hazırlanan briketlerin toplam kükürt ve yanar kükürt oranlarındaki değişim, grafiksel olarak Şekil 5.7’de verilmiştir. Bu gösterimde de artan kireç oranı karşısında, kükürt oranlarının azaldığı kolaylıkla görülmektedir.

Kireç oranlarının değiştirildiği ön çalışmalar neticesinde, diğer bağlayıcılarda olduğu gibi uygun oranın %3 olduğuna karar verilmiştir. Bu şekilde, hem analiz sonuçlarının istenen seviyeye getirilmesi, hem de diğer bağlayıcılarla karşılaştırmada kolaylık sağlanması amaçlanmıştır.



Şekil 5. 7 Şlempe katkıli brikette farklı kireç miktarlarında kükürt oranlarının değişimi

Şlempe ile hazırlanan briketlerde uygun kireç oranının saptanmasının ardından bu kez bağlayıcı oranlarının analizler üzerindeki etkisinin araştırıldığı aşamaya geçilmiştir. Bu safhada, %10 ve %20 arasında değiştirilen oranlarda kullanılan şlempe'nin analiz sonuçları ve mekanik dayanım değerleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve detaylı olarak verilmiştir.

Kısa analiz sonuçları

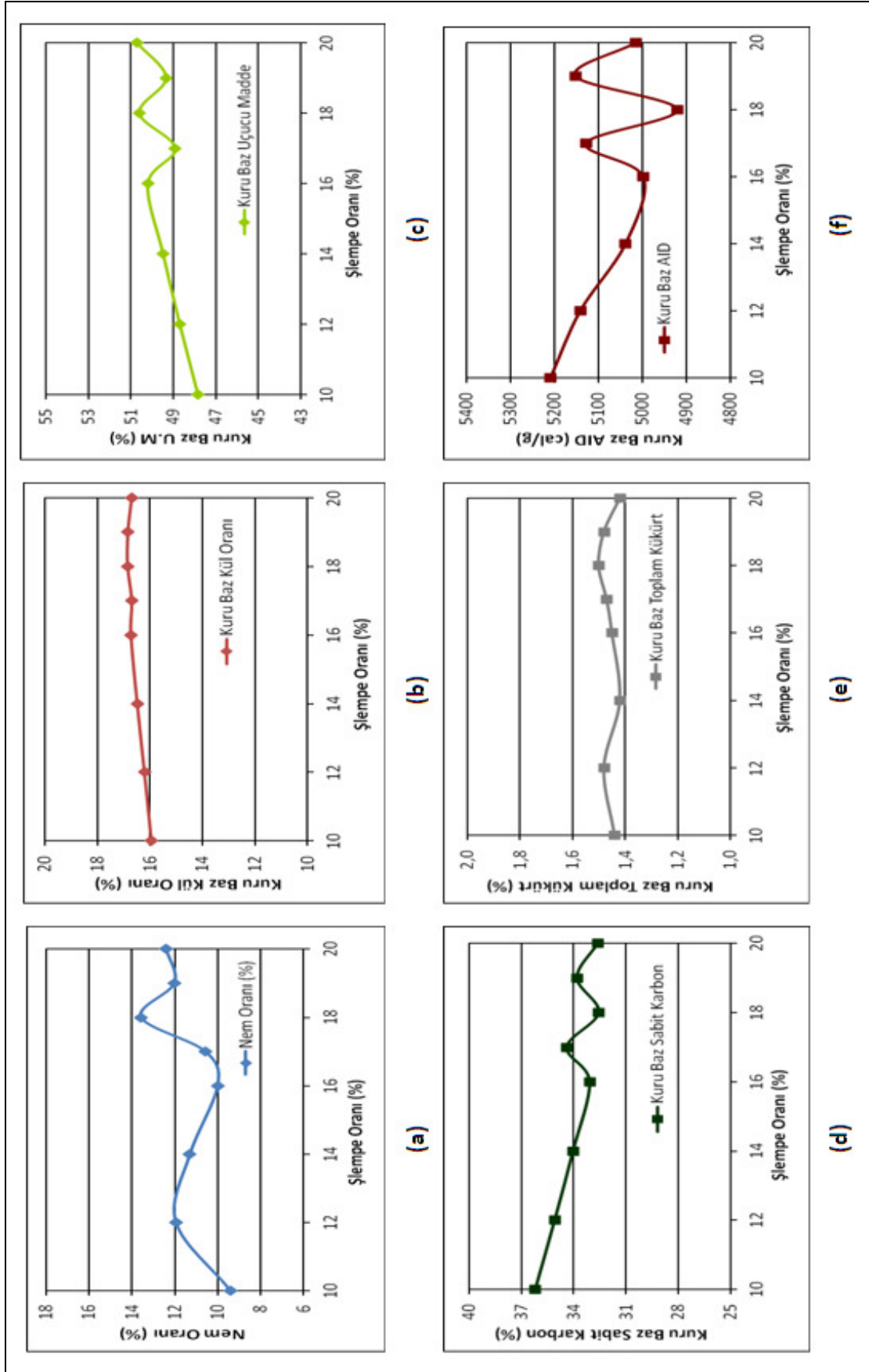
Farklı oranda şlempe kullanılarak üretilen briketlerin kısa analizleri ve kalorifik değer sonuçları Çizelge 5.28’de, bu sonuçların grafiksel gösterimleri ise kuru bazda ve orjinal bazda olmak üzere sırasıyla Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5. 28 Şlempe kullanılarak elde edilen briketlerin analiz sonuçları

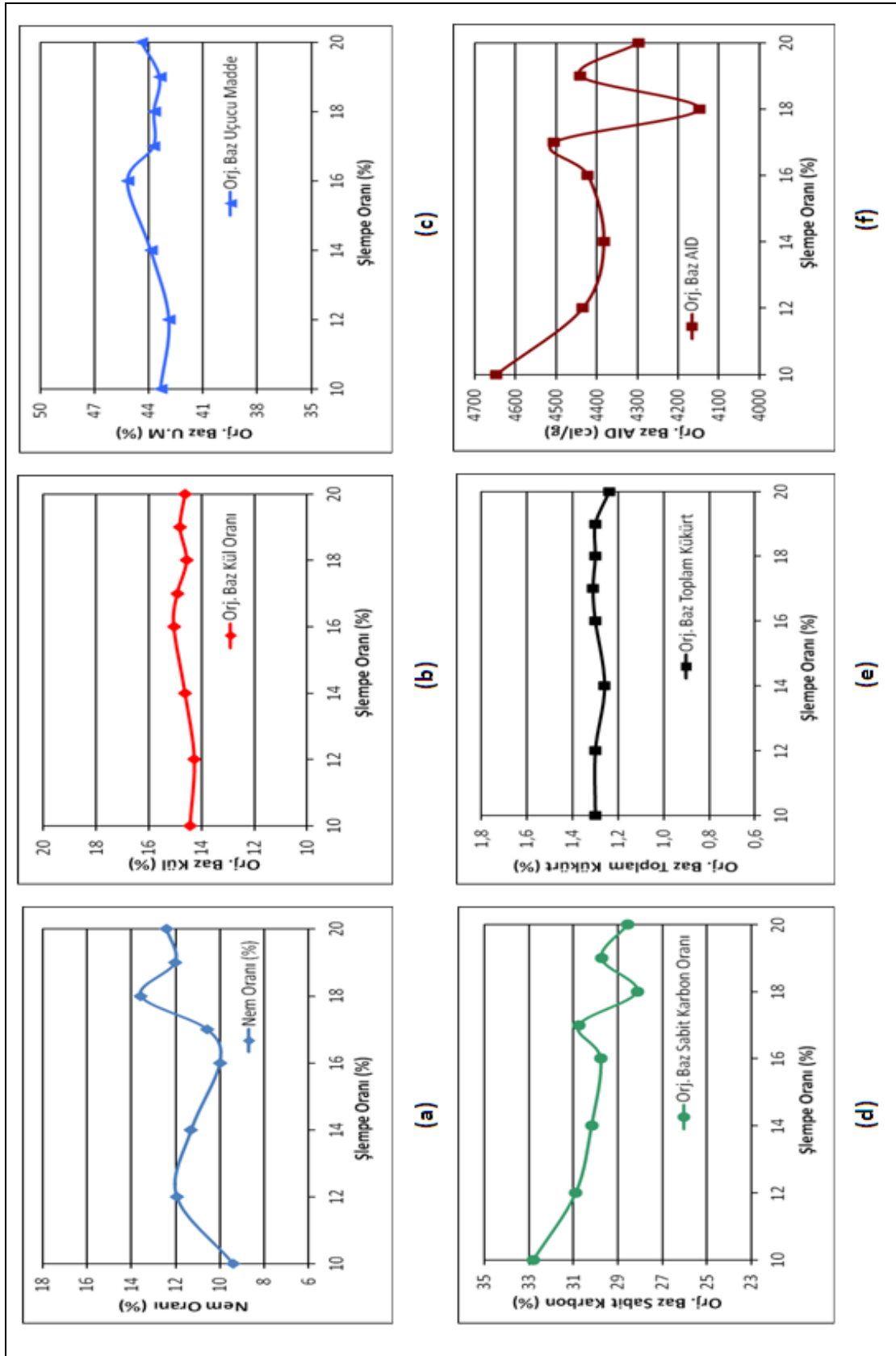
Şlempe (%)	Nem (%)	Kül (%)		Uçucu Madde (%)		Sabit Karbon (%)		Üst Isıl Değer (cal/g)		Alt Isıl Değer (cal/g)	
		Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.
10	9,41	15,94	14,44	47,85	43,35	36,21	32,80	5367	4862	5209	4648
12	11,96	16,21	14,27	48,70	42,88	35,09	30,89	5299	4665	5141	4435
14	11,30	16,49	14,63	49,48	43,89	34,03	30,18	5196	4609	5038	4383
16	10,01	16,73	15,06	50,19	45,17	33,08	29,77	5156	4640	4998	4422
17	10,59	16,70	14,93	48,91	43,73	34,39	30,75	5286	4726	5128	4505
18	13,59	16,86	14,57	50,59	43,71	32,55	28,13	5078	4388	4920	4148
19	12,03	16,85	14,82	49,34	43,40	33,81	29,74	5310	4671	5152	4441
20	12,42	16,70	14,63	50,70	44,40	32,60	28,55	5172	4530	5014	4297

Değiştirilen şlempe oranlarına bağlı olarak elde edilen briketlerin nem miktarlarına bakıldığında, %9 ile %13,6 arasında farklı değerler aldığı gözlenmiştir. Nem içeriği en düşük olan briket; %10 şlempe katkılı briket (%9,40) iken, en yüksek olan briket ise %18 şlempe içeren briket (%13,59) olmuştur. %37,36 oranında nem içeren şlempe, %16,33 oranında nem içeren toz kömürle karışımından elde edilen briketlerin nem oranlarının daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi; tesiste döner fırında kurumaya tabi tutulmuş toz kömürün, bir de laboratuvar ortamında 45 dakika süreyle ısıya maruz bırakılmasıdır. Ayrıca şlempe de akışkanlık kazandırmak üzere ısıtılırken nem kaybetmiş böylece elde edilen briketler nispeten düşük nemli olmuştur. Bu şekilde nem içeriğinin ısı değeri olumsuz etkilemeyeceği koşullar sağlanmıştır. Ancak şlempe oranına bağlı olarak, nem içerikleri de azalan veya artan şekilde ilerlememiş, farklılık göstermiştir (Şekil 5.8.a).

Briketlerin yanması sonucu açığa çıkan ve kaynağı kömürün içerdiği mineral maddeler olan kül miktarları, kuru bazda %16-17 arasında değişim göstermiş ve genelde birbirine yakın değerler almıştır. Kül oranlarındaki değişimin stabil olduğu Şekil 5.8.b ve Şekil 5.9.b’de de açıkça görülmektedir. Kül değeri minimum değerini %10 şlempe katkılı olan



Şekil 5. 8 Farklı şlepme oranlarında yapılan briketlerin kuru bazdaki analiz değişimleri



Şekil 5. 9 Farklı şlempe oranlarında yapılan briketlerin orjinal bazdaki analiz değişimleri

brikette alırken (%15,94), %18 katkılı brikette maksimum değere erişmiştir (%16,86). Toz halde iken kuru bazda %12,80 kül içen kömürün, briket haline dönüştürülmesiyle yaklaşık %4'lük bir kül artışına uğradığı saptanmıştır. Kül miktarlarında oluşan bu artış, briketek eklenen kirecin yanı sıra şlempenin yapısında bulunan ve mineral maddeye etki eden K, Ca ve Na gibi elementlere de bağlanabilir.

Kömürün ısıtılmasıyla yapısından ayrılan ve karbonmonoksit, metan, hidrojen, karbondioksit, su buharı, bazı hidrokarbon ve katran buharlarından oluşan uçucu madde içeriği; %47,90 ile %50,70 arasında değerler almıştır. Sonuçlardan da görüleceği üzere Yeniköy linyiti, genç linyit kategorisinde yer aldığı için, bu linyitin hammadde olarak kullanıldığı briketlerdeki uçucu madde içeriği de yüksek çıkmıştır. Şlempe oranının %10'dan başlayarak, %16'ya kadar arttırılmasıyla üretilen briketlerin uçucu madde miktarları da artış göstermiş, sonrasında artırılan şlempe oranına karşın stabil olmayan bir şekilde ilerlemiştir (Şekil 5.9.c).

Briketlerin sabit karbon oranları, %36 seviyesinden başlayarak, yaklaşık %3,5'lik bir düşüşle %32,50 civarına kadar değişim göstermiştir. Briketlemede kullanılan 0-3 mm boyutundaki toz kömürün sabit karbon içeriği %42,89 iken, bu kömürün kullanılmasıyla elde edilen briketlerin sabit karbon oranları daha düşük seviyede kalmıştır. Bunun sebebi; yanma sonucu açığa çıkan kül miktarındaki artıştır. Bu artışa bağlı olarak yanabilecek karbon kütlesi de azalmıştır.

Briketlerin yanması sonucu açığa çıkan ısı değerleri incelendiğinde, artan şlempe oranına bağlı olarak farklı sonuçlar aldıkları belirlenmiştir (Çizelge 5.28). Bağlayıcı oranı düşük, kömür oranı yüksek %10 şlempe içerikli brikette kömürün yakılmasıyla gr başına 4648 cal açığa çıkarken, %18 şlempe içeren brikette bu değer 4148 cal'ye değin inmiştir. Arada oluşan 500 cal fark; briket karışımındaki kömür oranının farklı olmasına bağlanabilir. Isıl değerlere genel olarak bakıldığında, sonuçların standartta öngörülen 4000 cal/g'lık sınırı karşıladığı görülmektedir.

Çizelge 5.29'da gösterildiği üzere, şlempe kullanılarak elde edilen briketlerin kükürt oranları, bağlayıcı miktarının değişimine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Toplam kükürt oranı %1,40 ile %1,50 arasında değişirken, yanar kükürt oranları %1,20 ve %1,32 aralığında değerler almıştır. Toplam kükürt oranında değerler belli bir düzende

ilerlememiş, artış ve azalış şeklinde ilerleyen bir seyir izlemiştir (Şekil 5.8.e ve Şekil 5.9.e). Ancak yanar kükürt oranları için farklı bir durum söz konusu olmuş, değerler bağlayıcı oranının artmasına paralel olarak düşüş göstermiştir. Buna göre yanar kükürt oranı %10 şlempe katkılı brikette %1,32 iken, %20 şlempe katkılı briket numunesinde %1,20 düzeyine kadar indirilmiştir. Dolayısıyla briket içerisine hammadde olarak eklenen, 0-3 mm toz kömürün yanar kükürt oranı (%1,53 kb) temelinde hesaplanan yanar kükürt azalma oranları da artış göstermiştir. Yanar kükürt oranları minimum %13,73 dolayında azalırken, maksimum değerini %20 şlempe ile hazırlanan brikette (%21,57) almıştır.

Kükürt sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde; TS 12055 standartına göre piyasaya arz edilebilecek briket kömürlerin yanar kükürt oranlarının maksimum %1 değerinde olması istendiği için, şlempe içeren briket kömürlerin bu koşulu sağlayamadığı ortaya konmuştur.

Çizelge 5. 29 Şlempe kullanılarak elde edilen briketlerin kükürt analiz sonuçları

Şlempe (%)	Toplam Kükürt (%)		Külde Kükürt (%)		Yanar Kükürt (%)		Yanar Kükürt Azalma Oranları (% Kuru Baz)
	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	
10	1,44	1,30	0,12	0,11	1,32	1,20	13,73
12	1,48	1,30	0,16	0,14	1,32	1,16	13,73
14	1,42	1,26	0,11	0,10	1,31	1,16	14,38
16	1,45	1,30	0,15	0,13	1,30	1,17	15,03
17	1,47	1,31	0,20	0,18	1,27	1,14	16,99
18	1,50	1,30	0,28	0,24	1,22	1,05	20,26
19	1,48	1,30	0,26	0,23	1,22	1,07	20,26
20	1,42	1,24	0,22	0,19	1,20	1,05	21,57

Briketlerin dayanım testleri

Şlempe ile hazırlanan briketlerin, mekanik mukavemetleri üzerinde bağlayıcı oranının etkisini belirlemek üzere yapılan; aşınma sağlamlığı, düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve suya dayanım testlerine ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- **Aşınma sağlamlığı:** Şlempe katkılı briketlerin tambur testlerine bakıldığında; artan bağlayıcı oranının sonuçlar üzerindeki pozitif etkisi göze çarpmaktadır. Aşınma sağlamlığı %64 ile en düşük değerini %12 şlempe içeren brikette alırken, en yüksek

değerini %20 oranında şlempe içeren brikette (%72) almıştır (Çizelge 5.30). Şlempe oranının artması ve buna bağlı olarak karışımdaki kömür oranının azaltılması ile bağlayıcı, kömür tozlarını tümüyle kaplamış ve sonrasında yapılan iyi bir preslemeyle sağlam briketler elde edilmesine olanak sağlamıştır.

Çizelge 5. 30 Farklı şlempe oranlarındaki aşınma sağlamlığı deney sonuçları

Briket Şlempe Oranı (%)	Aşınma Sağlamlığı (%)
10	65
12	64
14	65
16	66
17	68
18	70
19	70
20	72

Aşınma sağlamlığını belirlemek üzere yapılan elek analizleri ve bu sonuçlar kullanılarak yapılan hesaplamalara örnek olarak; %10, %14 ve %18 şlempe içeren briketlerin analiz sonuçları aşağıda sırasıyla verilmiştir (Çizelge 5.31, 5.32 ve 5.33).

Çizelge 5. 31 %10 şlempe kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları

Elek Açıklıkları	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%), C_i	$l_{ort,i}$	$l_{ort} = (\sum C_i * l_{ort,i}) / 100$	Aşınma Sağlamlığı (%) $= (l_{ort} / l) * 100$
71 mm	0,00	0,00	68,41	0,00	65
63 mm	0,00	0,00	67,00	0,00	
50 mm	57,00	60,64	56,50	34,26	
40 mm	0,00	0,00	45,00	0,00	
31,5 mm	19,00	20,21	35,75	7,23	
25 mm	0,00	0,00	28,25	0,00	
20 mm	0,00	0,00	22,50	0,00	
16 mm	0,00	0,00	18,00	0,00	
10 mm	0,00	0,00	13,00	0,00	
5 mm	5,00	5,32	7,50	0,40	
TAVA	13,00	13,83	2,50	0,35	
TOPLAM AĞIRLIK	94,0				

Çizelge 5. 32 %14 şleppe kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları

Elek Açıklıkları	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%), Ci	$l_{ort,i}$	$l_{ort} = (\sum c_i * l_{ort,i}) / 100$	Aşınma Sağlamlığı (%) $= (l_{ort} / l) * 100$
71 mm	0,00	0,00	68,41	0,00	65
63 mm	0,00	0,00	67,00	0,00	
50 mm	58,00	60,42	56,50	34,14	
40 mm	0,00	0,00	45,00	0,00	
31,5 mm	21,00	21,88	35,75	7,82	
25 mm	0,00	0,00	28,25	0,00	
20 mm	0,00	0,00	22,50	0,00	
16 mm	0,00	0,00	18,00	0,00	
10 mm	0,00	0,00	13,00	0,00	
5 mm	6,00	6,25	7,50	0,47	
TAVA	11,00	11,46	2,50	0,29	
TOPLAM AĞIRLIK	96,0				

Çizelge 5. 33 %18 şleppe kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları

Elek Açıklıkları	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%), Ci	$l_{ort,i}$	$l_{ort} = (\sum c_i * l_{ort,i}) / 100$	Aşınma Sağlamlığı (%) $= (l_{ort} / l) * 100$
71 mm	0,00	0,00	68,41	0,00	70
63 mm	0,00	0,00	67,00	0,00	
50 mm	61,00	65,59	56,50	37,06	
40 mm	0,00	0,00	45,00	0,00	
31,5 mm	21,00	22,58	35,75	8,07	
25 mm	0,00	0,00	28,25	0,00	
20 mm	0,00	0,00	22,50	0,00	
16 mm	0,00	0,00	18,00	0,00	
10 mm	0,00	0,00	13,00	0,00	
5 mm	1,00	1,08	7,50	0,08	
TAVA	10,00	10,75	2,50	0,27	
TOPLAM AĞIRLIK	93,0				

- **Kırılma sağlamlığı:** Briketlerin pres altında uygulanan yüke karşı gösterdikleri mukavemeti gösteren kırılma sağlamlığı test sonuçları Çizelge 5.34'te verilmiştir.

Çizelge 5. 34 Farklı şlepme oranlarındaki briketlerin kırılma sağlamlığı deney sonuçları

Şlepme Oranı (%)	Ağırlık (g)	Basınç (kgf)
10	85	83,2
12	92	91,5
14	93	93,5
16	90	89,9
17	94	86,1
18	92	83,9
19	92	86,4
20	93	86,8

Briketlerin kırılma sağlamlığı değerlerinin, bağlayıcı oranına bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmektedir. Buna göre; %10 şlepme ile hazırlanan briketin sıkıştırılmasıyla en düşük mukavemet sonucu (83,2 kgf) elde edilirken, en yüksek kırılma sağlamlığı değeri 93,5 kgf ile %14 şlepme içeren brikette saptanmıştır. Farklı oranlarda şlepme içeren briketlerin basınç değerlerine genel olarak bakıldığında, söz konusu değerlerin standartta belirtilen sınır değerlerin (Sınıf 1 briket için: 130 kg/cm², Sınıf 2 briket için: 100 kg/cm²) altında sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

- **Düşme sağlamlığı:** Düşme sağlamlığı değerleri (Çizelge 5.35), aşınma sağlamlığı değerlerinde olduğu gibi şlepme oranının arttırılmasıyla yükselmiştir. %61 ile %70 arasında değişen bu sonuçlar, TS 12055'in belirlediği %90 (Sınıf 1 briket) ve %80 (Sınıf 2 briket) limit değerlerinin altında çıkmıştır.

Çizelge 5. 35 Farklı şlepme oranlarındaki briketlerin düşme sağlamlığı deney sonuçları

Briket Şlepme Oranı (%)	Düşme Sağlamlığı (%)
10	61
12	62
14	62
16	64
17	65
18	67
19	69
20	70

- **Suya dayanım:** Briketlerin su içerisine bırakılmalarının ardından dağılmaya başladıkları anlar suya dayanım süresi olarak kaydedilmiştir (Çizelge 5.36). Şleppe oranının artmasına bağlı olarak yükselen suya dayanım sürelerinin, beklentiyi karşılayacak düzeyde çıkmadığı belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; suya karşı mukavemetleri iyi olmayan briketlerin, açık olarak piyasaya arz edilmelerinin imkan dahilinde olmadığı ve torbalanmaları gerektiği ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5. 36 Farklı şleppe oranlarındaki briketlerin suya dayanım süreleri

Briket Şleppe Oranı (%)	Suya Dayanım Süresi
10	11 dak 12 sn
12	13 dak 32 sn
14	13 dak 55 sn
16	15 dak 36 sn
17	17 dak 19 sn
18	18 dak 28 sn
19	19 dak 4 sn
20	21 dak 42 sn

5.1.4 Hümik Asit ile Gerçekleştirilen Çalışmalar

Yeniköy linyitinin briketlenme performansının incelendiği çalışmalar kapsamında kullanılan son bağlayıcı, literatürde kullanımına sıkça rastlanan hümik asit olmuştur. Bu çalışmanın ilk basamağında da önceki bağlayıcılarda olduğu gibi kireç oranı değiştirilerek, hümik asit oranı sabit tutulmuştur (Çizelge 5.37). Değişen kireç oranlarına bağlı olarak elde edilen briketlerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.38’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5. 37 Hümik asitle hazırlanan briketlerin karışım oranları

Kireç Oranı (%)	Hümik Asit Oranı (%)	Kömür Oranı (%)
1	18	81
2	18	80
3	18	79

Briket karışımındaki kireç oranının değiştirilmesi, özellikle kül ve ısı değer sonuçları üzerinde etkili olmuştur. Kül miktarı beklendiği üzere, kireç oranının artmasına paralel olarak artış göstermiştir. Kireç oranı %1 iken, %15,62 olan kül değeri, kireç oranı 2 katına çıkarıldığında % 0,26’lık artışa, 3 katına çıkarıldığında ise %0,48’lik artışa

uğramıştır. Kül oranının artmasına bağlı olarak, kömürde yanabilir kütlenin azalması söz konusu olduğu için ısı değeri sonuçlarında da belli bir düşüş oluşmuştur. Briketlerin nem değerleri farklılık arz ettiği için ve stabil bir davranış göstermediği için, sabit karbon ve uçucu madde değerlerinin değişimi de bu şekilde olmuştur. Uçucu madde oranları %48 ile %48,70 aralığında, sabit karbon oranları ise %35,30 ile %36,10 arasında değerler almıştır.

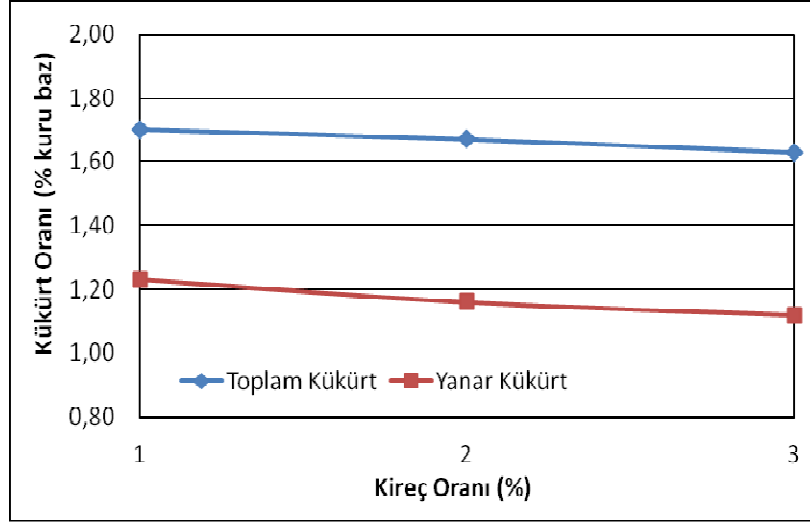
Çizelge 5. 38 Hümk asit katkı briketlerin farklı kireç oranlarındaki analiz sonuçları

Kireç (%)	Nem (%)	Kül (%)		Uçucu Madde (%)		Sabit Karbon (%)		Üst Isıl Değer (cal/g)		Alt Isıl Değer (cal/g)	
		Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.
1	16,29	15,62	13,08	48,63	40,71	35,75	29,93	5413	4531	5255	4275
2	16,12	15,88	13,32	48,05	40,30	36,07	30,26	5386	4518	5228	4263
3	16,66	16,10	13,42	48,57	40,48	35,33	29,44	5349	4458	5191	4200

Farklı miktarda kireç kullanılarak elde edilen briketlerin toplam kükürt ve yanar kükürt analiz sonuçları Çizelge 5.39’da, bu sonuçlar kullanılarak elde edilen grafik ise Şekil 5.10’da verilmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında, eklenen kirecin, kükürt oranları üzerindeki pozitif etkisi göze çarpmaktadır (Şekil 5.10). Kireç oranı %1 iken %1,70 olan toplam kükürt oranı, kireç oranı 2 katına çıkarıldığında %0,03’lük, 3 katına çıkarıldığında ise %0,07’lik bir düşüşe uğramıştır. Aynı etki yanar kükürt oranları için de geçerli olmuş, %1,23 seviyesindeki yanar kükürt oranı %1,12’ye kadar indirilmiştir. Ancak bu değerler, standartta belirlenmiş limit değeri (%1) karşılayacak seviyede çıkmamıştır.

Çizelge 5. 39 Hümk asit katkı brikette kireç oranına bağlı kükürt oranları

Kireç (%)	Toplam Kükürt (%)		Yanar Kükürt (%)	
	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.
1	1,70	1,42	1,23	1,03
2	1,67	1,40	1,16	0,97
3	1,63	1,36	1,12	0,93



Şekil 5. 10 Hümik asit katkılı brikette farklı kireç miktarlarında kükürt oranlarının değişimi

Kireç oranının değişken olarak alındığı ilk aşama çalışmaları genel olarak değerlendirildiğinde; diğer bağlayıcılarda da olduğu gibi, kükürt oranları üzerindeki olumlu etkisi nedeniyle, hümik asit ile briketlemede %3 oranında kireç kullanımı uygun görülmüştür.

Uygun kireç oranının belirlenmesinden sonra, hümik asit miktarında yapılacak değişimlerin, briketler üzerindeki etkisinin araştırılacağı aşamaya geçilmiştir. Hümik asit oranları %10 ile %20 aralığında değişim gösterecek şekilde kullanılmış ve elde edilen briketlerin kimyasal analiz ve mekaniksel dayanımları incelenmiştir.

Kısa analiz sonuçları

Değişen oranlarda hümik asit kullanımının, briketlerin kimyasal analiz sonuçları üzerindeki etkisi Çizelge 5.40'ta gösterildiği gibidir. Bu sonuçlar kullanılarak elde edilen grafikler ise kuru bazda ve orijinal bazda olmak üzere sırasıyla; Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmiştir.

Hümik asit kullanılarak elde edilen briketlerin nem oranları, diğer bağlayıcılarla hazırlanan briketlere göre bir miktar artış göstermiştir. Briket karışımına eklenen hümik asit oranının arttırılmasıyla birlikte, nem oranlarında da yükselme meydana gelmiştir. Bu briketlerden en düşük nem içeriğine (%12,67) sahip olanın %10 hümik asit katkılı briket olduğu, en yüksek nem oranına (%18,68) sahip olanın ise %20 hümik asit katkılı briket olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5. 40 Hümik asit kullanılarak elde edilen briketlerin analiz sonuçları

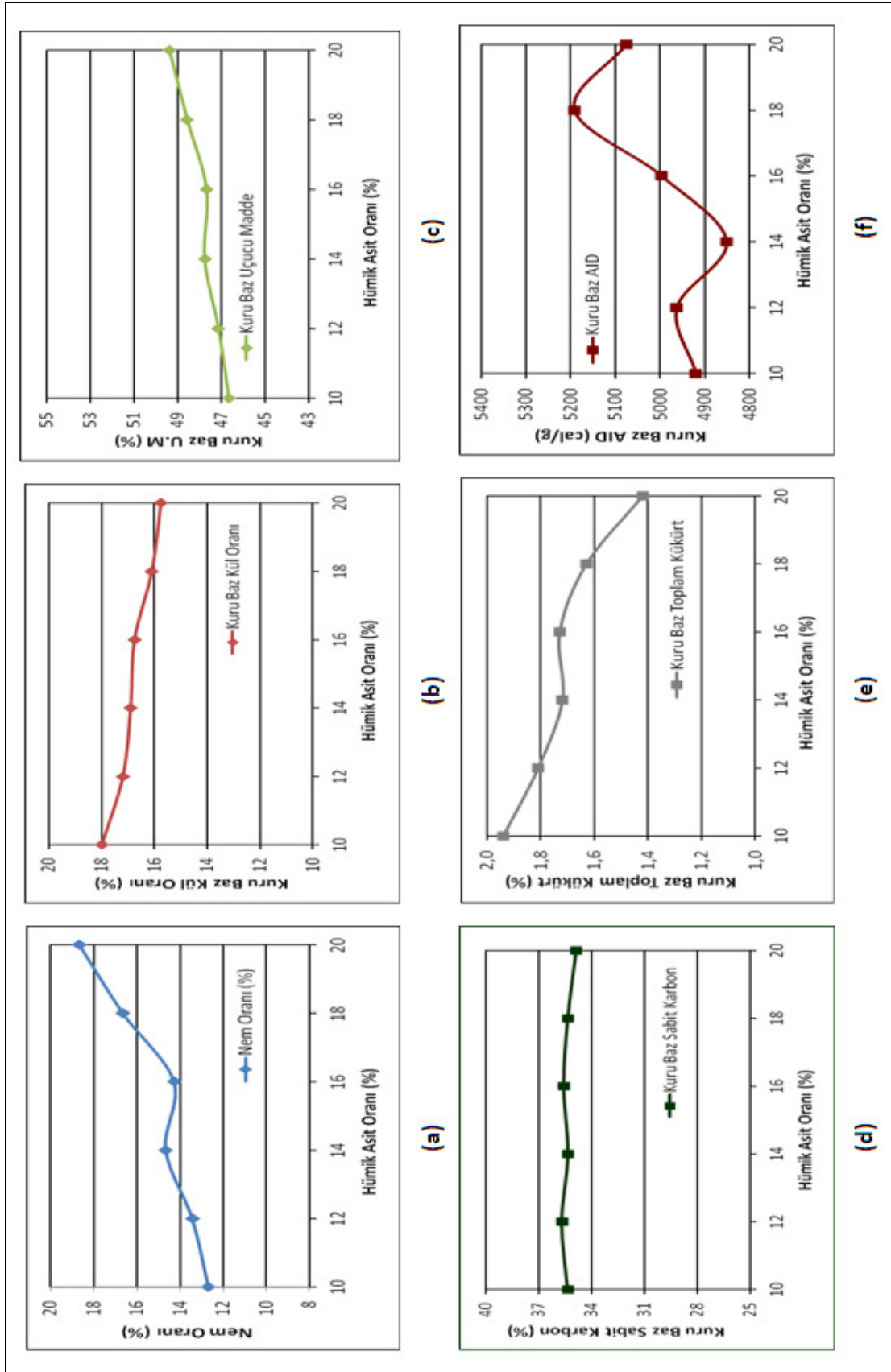
Hümik (%)	Nem (%)	Kül (%)		Uçucu Madde (%)		Sabit Karbon (%)		Üst Isıl Değer (cal/g)		Alt Isıl Değer (cal/g)	
		Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.
10	12,67	18,00	15,72	46,65	40,74	35,35	30,87	5078	4435	4920	4201
12	13,43	17,20	14,89	47,13	40,80	35,67	30,88	5121	4433	4963	4195
14	14,66	16,91	14,43	47,77	40,77	35,32	30,14	5010	4276	4852	4030
16	14,28	16,76	14,37	47,68	40,87	35,56	30,48	5155	4419	4997	4175
18	16,66	16,10	13,42	48,57	40,48	35,33	29,44	5349	4458	5191	4200
20	18,68	15,76	12,82	49,39	40,16	34,85	28,34	5233	4255	5075	3985

Briketlerin kül oranları incelendiğinde; hümik asit oranının artışıyla birlikte bu değerlerin azaldığı (Şekil 5.11.b) ve %15 ile %18 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Briketlerin üretiminde kullanılan 0-3mm boyutundaki toz kömürün kül içeriği %12,80 iken, hümik asit eklenmesiyle elde edilen briketlerin kül içerikleri %3-5 oranında artış göstermiştir. Kül oranlarında ortaya çıkan bu artışa sebep olarak; karışıma eklenen kireç ve hümik asit yapısında yer alan ve kül içeriğini etkileyen mineral maddeler gösterilebilir.

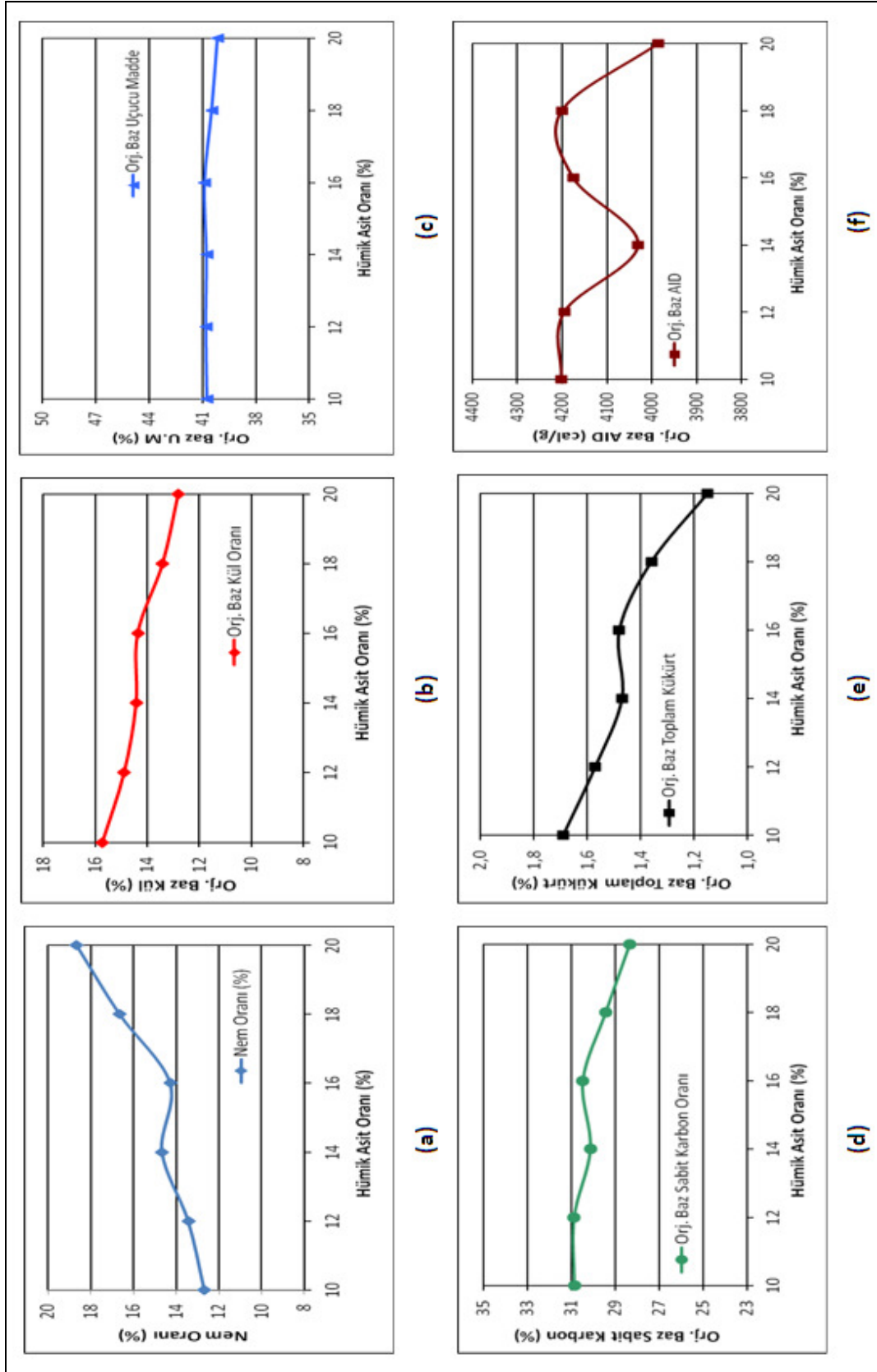
Briketlerin uçucu madde oranları, kuru bazda %46 ile %49,50 arasında değişim gösterirken, orjinal bazda, nem içeriklerinin etkisiyle %40 civarında değerler almış ve stabil bir davranış sergilemiştir. %10 hümik asit katkılı briketten başlayarak, %14 katkılı briket kadar uçucu madde oranlarında bir miktar yükselme olmuş, %16 hümik asit içeren brikette görülen azalma sonrasında, bu yükseliş devam etmiştir (Şekil 5.11.c).

Briketlerin sabit karbon içeriklerine bakıldığında, kuru bazda %35 dolayında değerler aldığı ve çok fazla farklılık arz etmediği gözlenmiştir (Şekil 5.11.d).

Briketlerin yanma sonucu açığa çıkan ısı değerlerini gösteren grafikler (Şekil 5.11.f ve Şekil 5.12.f) incelendiğinde, değerlerin birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Hümik asit kullanılarak hazırlanan bu kömürlerde en yüksek ısı değere (4201 cal/g) %10 bağlayıcı içeren brikette, en düşük ısı değere ise (3985 cal/g) %20 bağlayıcı içeren brikette ulaşılmıştır. %20 hümik asit katkılı briket numunesi dışında kalan kömürler, piyasaya arz etme koşulu olan orjinal bazda 4000 cal/g sınırını sağlamıştır.



Şekil 5. 11 Farklı hümik asit oranlarında yapılan briketlerin kuru bazdaki analiz değişimleri



Şekil 5. 12 Farklı hümik asit oranlarında yapılan briketlerin orjinal bazdaki analiz değişimleri

Hümik asit ile hazırlanan briketlerin kükürt analiz sonuçları Çizelge 5.41’de toplu olarak verilmiştir. Buna göre; kuru bazdaki toplam kükürt değerleri, artan hümik asit oranına karşın düşüş göstermiş ve %1,40 ile %1,95 arasında değişen değerler almıştır. Yanar kükürt için ise kükürt değişim aralığı %1,05 -1,35 olarak tespit edilmiştir. Kükürt sonuçlarına genel olarak bakıldığında; %20 hümik asit ile hazırlanan briketin, hem toplam kükürt, hem de yanar kükürt miktarının diğer briket numunelerine göre düşük olduğu görülmüştür. Briket karışımında kullanılan toz kömürün yanar kükürt oranı (%1,53) baz alınarak yapılan hesaplamalara göre; hümik asit miktarının değişimine bağlı olarak briketlerin yanar kükürt oranlarındaki azalma da farklılık göstermiştir. Briketin yapısındaki hümik asit oranı arttıkça, yanar kükürt giderme oranları yükselmiştir. Buna göre, yanar kükürt oranındaki maksimum düşüş (%28,76) %20 hümik asit içeren brikette meydana gelmiştir. Yanar kükürtün minimum düzeyde giderildiği briket ise %13,73 oranı ile %10 hümik asit içeren briket olmuştur. TS 12055 standartının yanar kükürt limit değeri olan %1 değerine ise hümik asitle yapılan briketlerin hiç birinde ulaşamamıştır.

Çizelge 5. 41 Hümik asit kullanılarak elde edilen briketlerin kükürt analiz sonuçları

Hümik A. (%)	Toplam Kükürt (%)		Külde Kükürt (%)		Yanar Kükürt (%)		Yanar Kükürt Azalma Oranları (%, Kuru Baz)
	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	Kuru	Orj.	
10	1,94	1,69	0,62	0,54	1,32	1,15	13,73
12	1,81	1,57	0,59	0,51	1,22	1,06	20,26
14	1,72	1,47	0,54	0,46	1,18	1,01	22,88
16	1,73	1,48	0,56	0,48	1,17	1,00	23,53
18	1,63	1,36	0,51	0,43	1,12	0,93	26,80
20	1,42	1,15	0,33	0,27	1,09	0,89	28,76

Briketlerin dayanım testleri

Hümik asit ile hazırlanan briketlerin dayanım testlerine (aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı, düşme sağlamlığı ve suya dayanım) ait sonuçlar aşağıda verildiği gibidir.

- **Aşınma sağlamlığı:** Hümik asit eklenerek elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı değerleri (Çizelge 5.42) oldukça düşük olup, bu briketlerin mekaniksel dayanımının kötü olduğunu ortaya koyar nitelikte çıkmıştır. Hazırlanma aşamasında kalıptan

çıkarılırken dahi dağılan hümik asit içerikli briketlerin aşınma sağlamlığı değerleri %4 ile %10 arasında değişim göstermiş ve bağlayıcı oranı ile az miktar da olsa artış göstermiştir. Ancak söz konusu değerler, standartın belirlediği sınır değerlerin çok altında yer almaktadır ve bu da, bağlayıcının bağlama yeteneğinin oldukça kötü olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 5. 42 Farklı hümik asit oranlarındaki aşınma sağlamlığı deney sonuçları

Briket Hümik Asit Oranı (%)	Aşınma Sağlamlığı (%)
10	4
12	4
14	6
16	5
18	9
20	10

%10, %14 ve %18 oranında hümik asit ile hazırlanan briketlerin aşınma sağlamlığını belirlemek üzere yapılan elek analizleri ve bu analizlerin kullanılması ile belirlenen hesaplama kriterleri Çizelge 5.43, 5.44 ve 5.45'ta sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 5. 43 %10 hümik asit kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları

Elek Açıklıkları	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%), C_i	$l_{ort,i}$	$l_{ort} = (\sum C_i * l_{ort,i}) / 100$	Aşınma Sağlamlığı (%) $= (l_{ort} / l) * 100$
71 mm	0,00	0,00	68,41	0,00	4
63 mm	0,00	0,00	67,00	0,00	
50 mm	0,00	0,00	56,50	0,00	
40 mm	0,00	0,00	45,00	0,00	
31,5 mm	0,00	0,00	35,75	0,00	
25 mm	0,00	0,00	28,25	0,00	
20 mm	0,00	0,00	22,50	0,00	
16 mm	0,00	0,00	18,00	0,00	
10 mm	0,00	0,00	13,00	0,00	
5 mm	2,00	2,25	7,50	0,17	
TAVA	87,00	97,75	2,50	2,44	
TOPLAM AĞIRLIK	89,0				

Çizelge 5. 44 %14 hümik asit kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları

Elek Açıklıkları	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%), Ci	$l_{ort,i}$	$l_{ort} = (\sum c_i * l_{ort,i}) / 100$	Aşınma Sağlamlığı (%) $= (l_{ort} / l) * 100$
71 mm	0,00	0,00	68,41	0,00	6
63 mm	0,00	0,00	67,00	0,00	
50 mm	0,00	85,42	56,50	0,00	
40 mm	0,00	0,00	45,00	0,00	
31,5 mm	0,00	0,00	35,75	0,00	
25 mm	0,00	0,00	28,25	0,00	
20 mm	0,00	0,00	22,50	0,00	
16 mm	0,00	0,00	18,00	0,00	
10 mm	6,00	6,74	13,00	0,88	
5 mm	7,00	7,87	7,50	0,59	
TAVA	76,00	85,39	2,50	2,13	
TOPLAM AĞIRLIK	89,0				

Çizelge 5. 45 %18 hümik asit kullanılarak elde edilen briketlerin aşınma sağlamlığı analiz sonuçları

Elek Açıklıkları	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%), Ci	$l_{ort,i}$	$l_{ort} = (\sum c_i * l_{ort,i}) / 100$	Aşınma Sağlamlığı (%) $= (l_{ort} / l) * 100$
71 mm	0,00	0,00	68,41	0,00	9
63 mm	0,00	0,00	67,00	0,00	
50 mm	0,00	0,00	56,50	0,00	
40 mm	0,00	0,00	45,00	0,00	
31,5 mm	0,00	0,00	35,75	0,00	
25 mm	0,00	0,00	28,25	0,00	
20 mm	0,00	0,00	22,50	0,00	
16 mm	12,00	13,19	18,00	2,37	
10 mm	10,00	10,99	13,00	1,43	
5 mm	8,00	8,79	7,50	0,66	
TAVA	61,00	67,03	2,50	1,68	
TOPLAM AĞIRLIK	91,0				

- **Kırılma sağlamlığı:** Değişen oranda hümik asit kullanımının kırılma sağlamlıkları üzerindeki etkileri Çizelge 5.46'da görülmektedir. Basınca dayanımı, diğer bağlayıcılarla yapılan briketlere oranla düşük olan hümik asit içerikli briketler, 50 kgf ile 61 kgf arasında değişen sağlamlık değerlerine sahiptir. Hümik asit ile hazırlanan briketlerin kırılmaya karşı mukavemetlerinin düşük olması, tamamıyla bağlayıcının bağlama kabiliyetinin kötü olması ile ilgilidir. Bu mukavemet değerleri, standartta belirlenmiş değerlerin oldukça altında olup, briketlerin piyasaya arz edilecek kalitede olmadığını göstermiştir.

Çizelge 5. 46 Farklı hümik asit oranlarındaki kırılma sağlamlığı deney sonuçları

Hümik Asit Oranı (%)	Ağırlık (g)	Basınç (kgf)
10	86	51,2
12	78	53,0
14	90	52,9
16	82	50,4
18	83	50,9
20	91	61,0

- **Düşme sağlamlığı:** Hümik asit kullanılarak elde edilen briketlerin, düşme mukavemetleri Çizelge 5.47'de verilmiştir. Buna göre, düşme sağlamlık değerleri, artan bağlayıcı oranına bağlı olarak yükseliş göstermiştir, ancak elde edilen değerler oldukça düşük oranda kalmıştır. Düşme sağlamlığı en düşük briket %10 hümik asit ile hazırlanan briket iken, en yüksek olan ise %20 hümik asit katkılı briket olmuştur. Düşme sağlamlığı testi de diğer mukavemet testlerinde olduğu gibi, standartta yer alan değerlerin çok altında sonuçlar vermiştir.

Çizelge 5. 47 Farklı hümik asit oranlarındaki düşme sağlamlığı deney sonuçları

Briket Hümik Asit Oranı (%)	Düşme Sağlamlığı (%)
10	3
12	4
14	4
16	5
18	7
20	8

- **Suya dayanım:** Hümik asit ile laboratuvar ortamında üretilen briketlerin suya mukavemet süreleri incelendiğinde, söz konusu sürelerin çok kısa olduğu gözlenmiştir (Çizelge 5.48). 1 dakika ile 5 dakika arasında değiştiği belirlenen suya dayanım sürelerinden yola çıkılarak, hümik asit içerikli briketlerin suya mukavemetlerinin olmadığı söylenebilir.

Çizelge 5. 48 Farklı hümik asit oranlarındaki briketlerin suya dayanım süreleri

Briket Hümik Asit Oranı (%)	Suya Dayanım Süresi
10	1 dak 3 sn
12	1 dak 29 sn
14	2 dak 48 sn
16	4 dak 26 sn
18	3 dak 55 sn
20	5 dak 40 sn

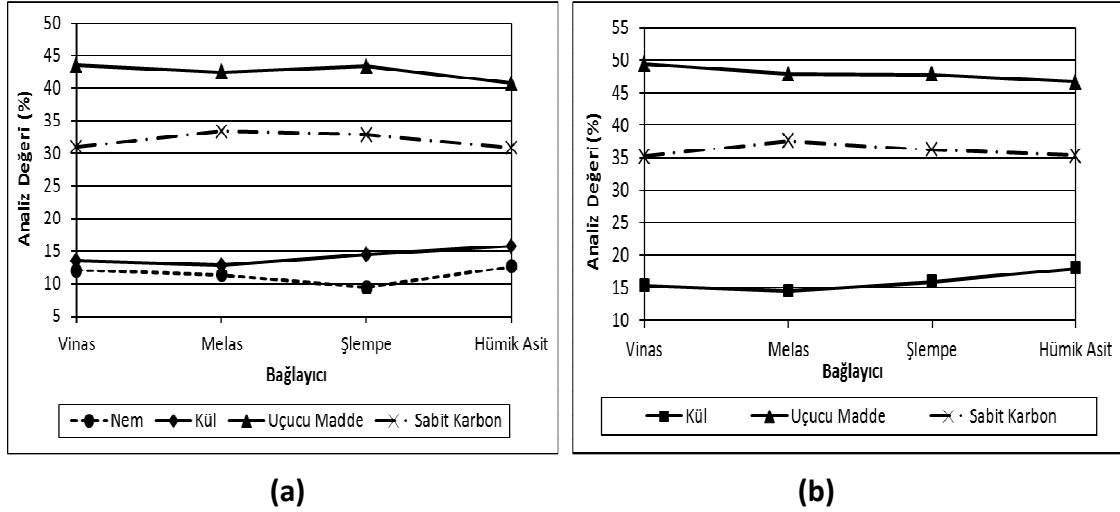
5.2 Briketleme Çalışmalarının Genel Değerlendirmesi

5.2.1 Bağlayıcı Oranı Bazında Değerlendirme

Farklı türde (vinas, melas, şlempe ve hümik asit) ve oranda (%10 ile 20 arasında) bağlayıcılar kullanılarak, sabit oranda (%3) söndürülmüş kireçle gerçekleştirilen briketleme çalışmasında, bağlayıcı oranının kimyasal analizler ve mekanik mukavemetler üzerindeki etkileri bu bölümde genel olarak değerlendirilecektir. Bu şekilde; TS 12055 standartında yer alan kriterleri sağlayan briket numuneleri ve bu numunelerin üretiminde kullanılan bağlayıcının türünün ortaya konulması hedeflenmiştir.

%10 Bağlayıcı Oranı: Briketleme çalışmalarında, gerek maliyet göz önünde tutularak gerekse daha önce literatürde yapılan çalışmalar incelenerek, %10 oranından başlanarak çalışılmıştır. Bu bağlayıcı oranında hazırlanan briketlerin kısa analiz sonuçlarının grafiksel dağılımı (orjinal ve kuru bazda) Şekil 5.13'te gösterilmiştir.

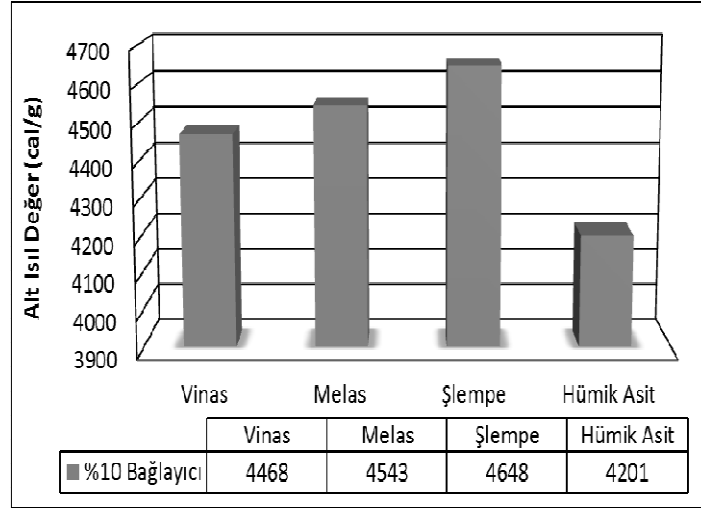
Şekil 5.13'te de görüldüğü gibi, %10 bağlayıcı kullanılarak hazırlanan briketler içerisinde en düşük nem; şlempe içerikli brikette (%9,41), en yüksek nem oranı ise hümik asitle yapılmış brikette (%12,67) görülmüştür. Bağlayıcı türüne göre değişiklik gösteren nem değerleri, briketlerin kalorifik değerlerini olumsuz etkileyecek düzeyde çıkmamıştır.



Şekil 5. 13 %10 bağlayıcı içeren briketlerin kısa analizlerinin değişimi
(a: orjinal baz; b: kuru baz)

Bir diğer analiz parametresi olan kül değerleri incelendiğinde; hem orjinal hem de kuru bazda melasla hazırlanan briketin düşük oranda, şlempe içerikli briketin ise kimyasal yapısı dolayısıyla yüksek miktarda kül içerdiği belirlenmiştir. Kömür bünyesindeki düşük molekül ağırlıklı bileşenlerin ayrılması ile belirlenen uçucu madde değerleri de bağlayıcı türüne göre farklılık göstermiştir. Kuru bazda %46 ile %49,5 arasında değişen bu değerlerin, maksimum oranda tespit edildiği briket; vinas ile üretilen, minimum oranda olanı ise hümik asit ile hazırlanan briket olmuştur. Kömürde yanabilir kütleyi temsil eden sabit karbon oranları ise diğer analizlerde olduğu gibi bağlayıcı türüne göre değişiklik göstermiştir. Vinas ve hümik asit benzer oranda (~%35 kb) ve düşük oranda sabit karbon içeriğine sahipken, melasta aksine yüksek oranda sabit karbon içeriği saptanmıştır.

Briketlerin yanma kalitesini ortaya koyan ve TS 12055'e göre orjinal bazda minimum 4000 cal/g olması gereken alt ısı değerlerinin değişimi Şekil 5.14'te gösterildiği gibidir. Buna göre; tüm briketlerin standartta yer alan koşulu karşıladığı, şlempe içerikli briketin yanma sonrası en yüksek ısıyı verdiği, hümik asit katkılı briketin ise aksine en düşük yanma ısısına sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun öncelikli sebebi; şlempe içerikli briketin diğer briketlere göre en düşük neme, hümik asit içeren briketin ise en yüksek neme sahip olmasıdır.



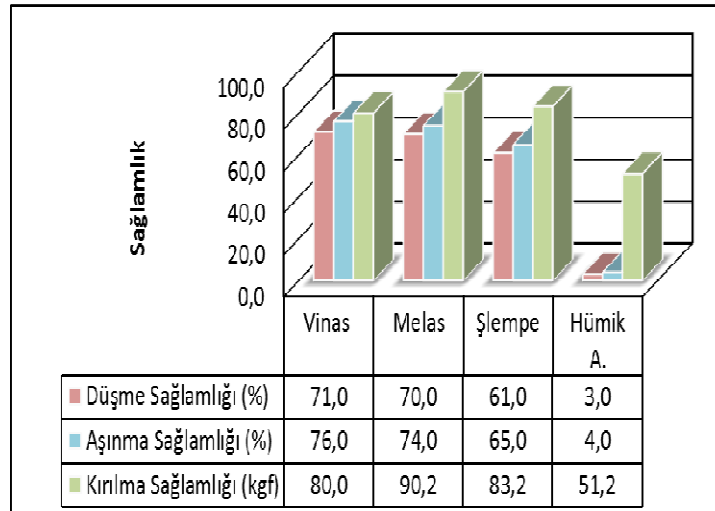
Şekil 5. 14 %10 bağlayıcı içeren briketlerin alt ısı değerlerinin değişimi

Briket kömürlerin yanması sonucu açığa çıkan kükürt emisyonları, bağlayıcılar bazında farklı değerler almıştır (Çizelge 5.49). Hümkik asit; hem toplam kükürt, hem de yanar kükürt içeriği açısından diğer kömürlere kıyasla yüksek değerler almış, melas ise aksine düşük değerler almıştır. Ancak söz konusu değerlerin tümü incelendiğinde, TS 12055'te yer alan ve baca gazına geçen kükürt oranı olarak değerlendirilen yanar kükürt oranının, briketlerin hiçbirinde %1 seviyesine inmediği gözlenmiştir.

Çizelge 5. 49 %10 bağlayıcı içeren briketlerin kükürt oranları

Bağlayıcı	Toplam Kükürt (% , kb)	Yanar Kükürt (% , kb)
Vinas	1,64	1,12
Melas	1,25	1,05
Şlempe	1,44	1,32
Hümkik Asit	1,94	1,32

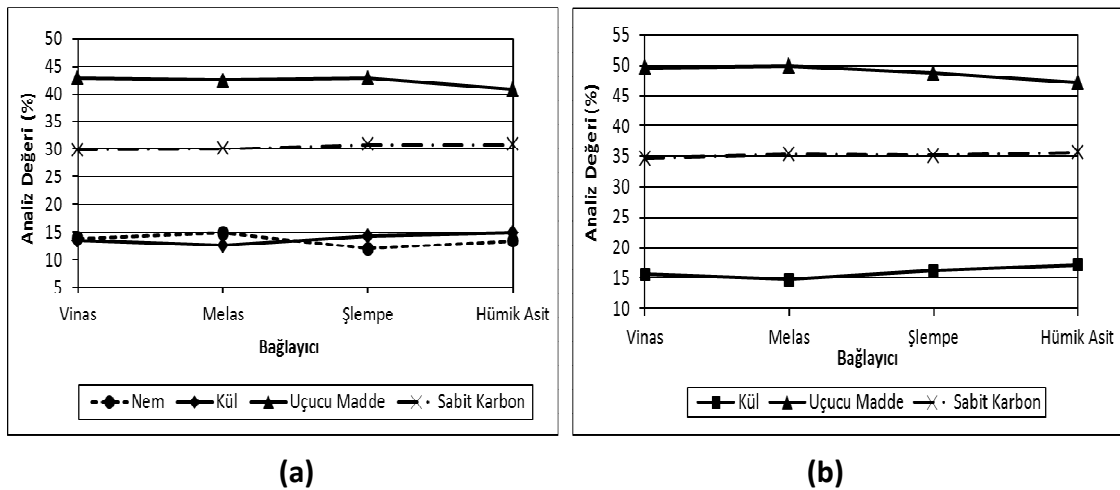
Briketlerin yükleme, boşaltma ve depolanması sırasında önem arz eden mekanik dayanımları da diğer analiz parametreleri gibi birbirinden farklı değerler almıştır (Şekil 5.15). Aşınma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı değerlerine bakıldığında; vinasın melasla oldukça yakın değerler aldığı, ancak kırılma sağlamlığı testinde melasın daha yüksek mukavemetle sonuçlandığı göze çarpmaktadır. Bu briketleri sırasıyla; şlempe ve hümkik asit izlemektedir. Bağlayıcılık özelliği iyi olmayan hümkik asit, preste basıldıktan sonra kalıp içerisinden zorlukla çıkarılmış ve büyük oranda dağılmıştır. Buna bağlı olarak, kırılma, aşınma ve düşme testlerinde olumsuz sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5. 15 %10 bağlayıcı içeren briketlerin aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı dağılımları

%10 bağlayıcı içeren briketlerin suya dayanım sürelerine bakıldığında; vinas ve melas içerikli briketin, su içerisine atıldıktan yaklaşık 7 dakika sonra, şlempe ve hümik asit katkıli briketlerin ise sırasıyla 11 dakika ve 1 dakika sonrasında dağılmaya başladığı gözlenmiştir. Tüm bu verilere dayanarak, %10 bağlayıcı ile hazırlanan briketlerden hiç birinin suya mukavemetinin bulunmadığı söylenebilir.

%12 Bağlayıcı Oranı: Bağlayıcı oranı %12 iken elde edilen briketlerin kısa analiz sonuçları Şekil 5.16'da grafiksel olarak vermiştir.

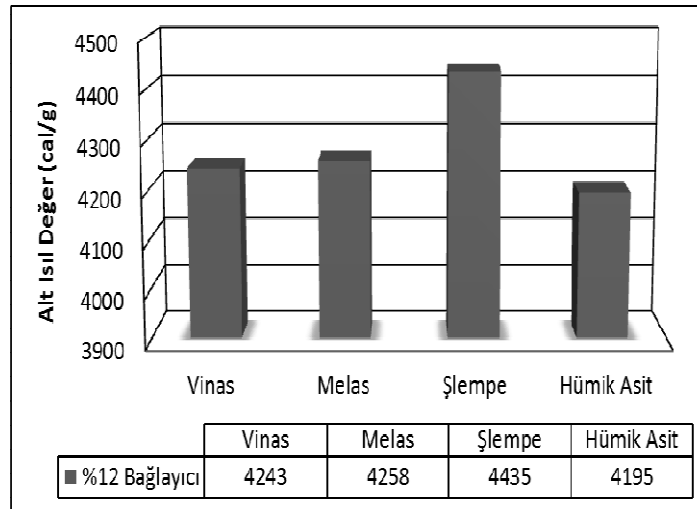


Şekil 5. 16 %12 bağlayıcı içeren briketlerin kısa analizlerinin değişimi
(a: orjinal baz; b: kuru baz)

Briketlerin ısı değerlerini negatif yönde etkileyen nem değerleri, bağlayıcı bazında farklılık göstermiştir. Buna göre; yine en düşük nem oranına sahip briket, şlempe ile

hazırlanan briket (%11,96) olmuştur. Melas içeren briketin ise aksine en yüksek neme (%14,89) sahip olduğu belirlenmiştir. Kül miktarlarına bakıldığında, melas %14,75 ile en düşük kül içerikli briket iken, onu sırasıyla vinas, şlempe ve hümik asit takip etmiştir. Bu bağlayıcılar ile hazırlanan briketlerde oluşan kül miktarları sırasıyla; %15,63; %16,21 ve %17,20'dir. Uçucu madde oranları; vinas ve melas içeren briketlerde oldukça yakın ve %49 civarında iken, şlempeyle hazırlanan brikette bu oran %48, hümik asit içerikli brikette ise %47 dolayına inmiştir. Sabit karbon oranları tüm bağlayıcı türlerinde birbirine yakın (~%35) çıkmıştır (Şekil 5.15.b).

Briketlerin kalorifik değerlerinin değişimi Şekil 5.17'de verilmiştir. Buna göre; tüm briketlerin orjinal bazda 4000 cal/g üzerinde ısı değere sahip olduğu, dolayısıyla standartta istenen kriteri karşıladığı görülmektedir. Şlempe 4435 cal/g ile en yüksek alt ısı değere sahipken, onu sırasıyla melas (4258 cal/g), vinas (4243 cal/g) ve hümik asit (4195 cal/g) takip etmiştir. Briketlerin yanabilir kütlelerini temsil eden sabit karbon oranları birbirine oldukça yakınken, nem değerleri farklılık gösterdiği için alt ısı değerlerinde değişik sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5. 17 %12 bağlayıcı içeren briketlerin alt ısı değerlerinin değişimi

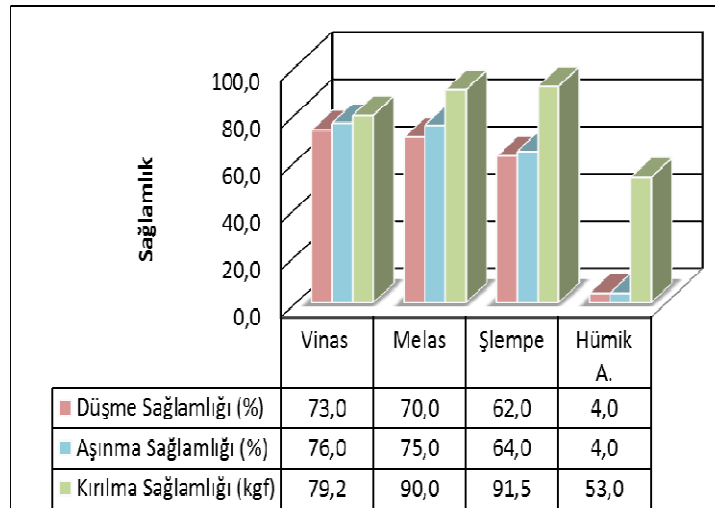
Briketlerin içerdikleri kükürt oranları bağlayıcılar bazında değişim göstermiştir. Çevreyi ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen kükürt içeriklerinin en yüksek oranda görüldüğü briket; hümik asit ile hazırlanan olmuştur. Toplam kükürt oranlarında hümik asitten sonra; vinas, şlempe ve melas içeren briketler gelmiştir. Yanar kükürt oranları

bağlayıcıların tümünde standartta belirtilen %1 limit değerinin üzerinde sonuç vermiş, melas ile hazırlanan brikette diğerlerine oranla minimum değer (%1,03) almıştır.

Çizelge 5. 50 %12 bağlayıcı içeren briketlerin kükürt oranları

Bağlayıcı	Toplam Kükürt (% , kb)	Yanar Kükürt (% , kb)
Vinas	1,77	1,12
Melas	1,21	1,03
Şlempe	1,48	1,32
Hümk Asit	1,81	1,22

Şekil 5.18’de briketlerin fiziksel testlerinin dağılımları bağlayıcı bazında verilmiştir. Buna göre; aşınma sağlamlığı, düşme sağlamlığı ve kırılma sağlamlığı en düşük olan briket, hümk asitle hazırlanan briket olmuştur. Bu briket preslenme sonrası kalıptan yine bütün olarak çıkarılamamıştır, dolayısıyla mukavemet değerleri oldukça düşük çıkmıştır. Aşınma ve düşme sağlamlığı en iyi olan briket vinas bazlı olan iken, kırılma sağlamlığı en yüksek olan briket, şlempe içeren briket olmuştur. Briketlerin mukavemet değerleri ile TS 12055’te yer alan değerler karşılaştırıldığında; yalnızca vinas ve melasın aşınma sağlamlığı kriterlerini sağladığı, ancak düşme sağlamlığı ve kırılma sağlamlığı açısından yetersiz oldukları belirlenmiştir.



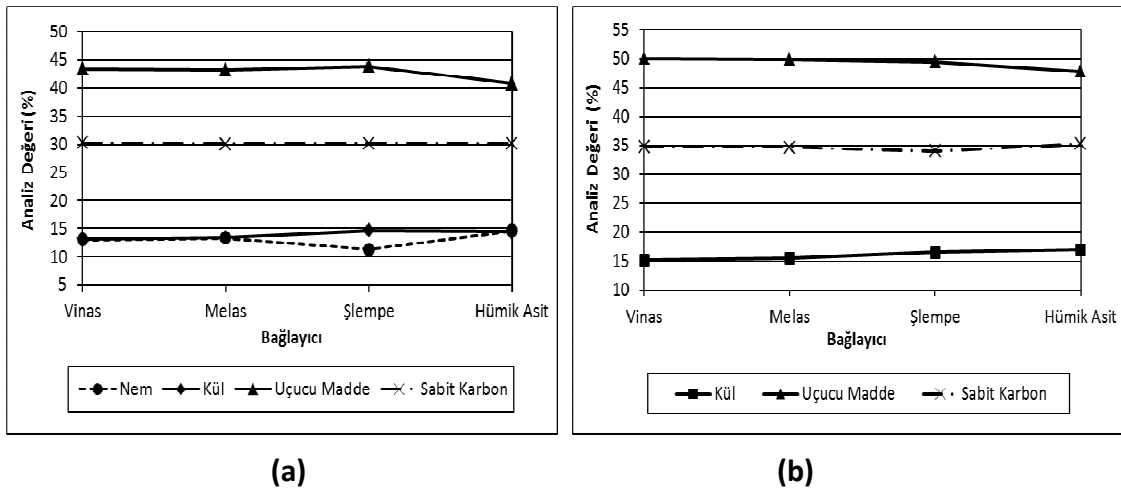
Şekil 5. 18 %12 bağlayıcı içeren briketlerin aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı dağılımları

%12 bağlayıcı kullanılarak hazırlanan briketler suya mukavemet açısından incelendiklerinde, oldukça dayanıksız oldukları görülmüştür. Suya dayanım süresi diğerlerine kıyasla şlempe katkılı brikette biraz daha yüksek bulunurken (~13 dak), onu

sırasıyla; melas (~9 dak), vinas (~8 dak) ve hümik asit (~1 dak) ile yapılan briketler izlemiştir.

%12 bağlayıcı ile hazırlanan briketler her ne kadar ısı değeri açısından yeterli sonuçlar verseler de, fiziksel testler ve kükürt emisyonları yönünden TS 12055'e uygun olmayan değerlere sahip oldukları için piyasaya arzlarının mümkün olmadığı ortaya konmuştur.

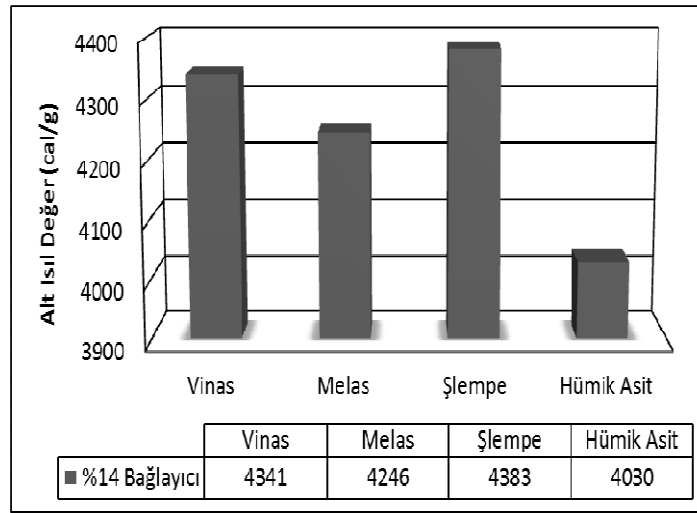
%14 Bağlayıcı Oranı: Briketleme çalışmalarında bağlayıcı oranı %14'e çıkarıldığında, nem değerleri, %10 ve %12 oranında bağlayıcı içeren briketlere benzer bir seyir izlemiştir. Şlempe içeren briketin nem miktarı diğerlerine oranla düşük kalırken (%11,30), hümik asit içerikli briketin en yüksek nem oranına (%14,66) sahip olduğu saptanmıştır (Şekil 5.19).



Şekil 5. 19 %14 bağlayıcı içeren briketlerin kısa analizlerinin değişimi
(a: orjinal baz; b: kuru baz)

Briketlerin kül miktarları vinas ve melas kullanıldığında kuru bazda %15 civarında değer alırken, hümik asit ve şlempe içeren briketlerde az da olsa artış göstererek %16 dolayına yükselmiştir. Kömür bünyesinde yer alan düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin uzaklaştırılması esasına dayanan uçucu madde analizinde, 3 farklı bağlayıcı türünde oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu bağlayıcılar vinas, melas ve şlempedir, söz konusu oran ise %49 civarındadır. Hümik asitle yapılmış brikette bu oran %47 dolayına inmiştir (Şekil 5.18). Sabit karbon oranları ise vinas, melas ve şlempe ile hazırlanan briketlerde benzer sonuçlar vermiş (~%34), hümik asit katkılı brikette ise çok fazla değişim göstermemiş ancak %1'lik bir artışla %35 dolayına yükselmiştir.

Briketlerin alt ısı değerlerinin değişimi Şekil 5.20’de gösterilmiştir. Orjinal bazda 4000 cal/g üzerinde ısı değere sahip briketlerin, bu özellikleri ile standartta belirtilen kalori kıstasını sağlamış durumda oldukları saptanmıştır. Vinas ve şlempe içeren briketler alt ısı değeri açısından birbirine yakın sonuçlar verirken, onu sırasıyla melas ve hümik asit içeren briketler izlemiştir. Hümik asit ile hazırlanan briket, sabit karbon oranı diğer briketlere oranla yüksek olmasına rağmen, en düşük ısı değere sahip briket olarak belirlenmiştir. Buna sebep olarak, briketin nem içeriğinin yüksek olması gösterilebilir.



Şekil 5. 20 %14 bağlayıcı içeren briketlerin alt ısı değerlerinin değişimi

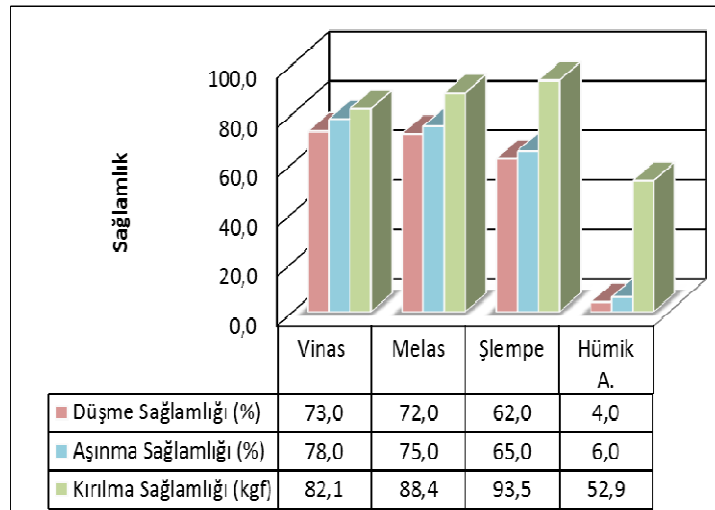
%14 bağlayıcı içeren briketlerin kükürt içerikleri Çizelge 5.51’de verilmiştir. Toplam kükürt oranlarına bakıldığında, en yüksek kükürt içeriğine sahip briketin; hümik asit ile üretilen (%1,72), en düşük kükürt içerikli briketin ise melas ile hazırlanan (%1,22) olduğu görülmüştür. Yanar kükürt oranlarında, melas katkılı briket yine en düşük orana sahip iken (%1,03), şlempe katkılı briket en yüksek orana (%1,31) sahip briket numunesi olarak tespit edilmiştir. Hümik asit içeren briketin toplam kükürt oranının yüksek olmasına rağmen, yanar kükürt oranının nispeten düşük olması, mineral matristeki kükürt oranının (külde kükürt) yüksekliğine bağlanabilir.

Çizelge 5. 51 %14 bağlayıcı içeren briketlerin kükürt oranları

Bağlayıcı	Toplam Kükürt (% , kb)	Yanar Kükürt (% , kb)
Vinas	1,64	1,10
Melas	1,22	1,03
Şlempe	1,42	1,31
Hümik Asit	1,72	1,18

%14 bağlayıcı ile hazırlanan briketlerin mekanik mukavemet sonuçları Şekil 5.21’de topluca verilmiştir. Bu verilere göre, vinas kullanılarak hazırlanan briketin aşınma ve düşme sağlamlığı diğerlerine göre daha iyi sonuç verirken (%78 ve %73), bağlayıcılığı kötü olan hümik asitle yapılan briket oldukça düşük sonuçlar (%6 ve %4) vermiştir. Kırılma mukavemeti, şlempe içerikli brikette yüksek bir değer vermiş (93,5 kgf), onu melas (88,4 kgf) ve vinas katkılı (82,1 kgf) briketler izlemiştir. Hümik asit eklenerek üretilen briket, aşınma ve düşme dayanımına benzer şekilde kırılma sağlamlığında da yüksek bir mukavemet gösterememiş, preste yük altında düşük bir basınçta dağılmış ve dolayısıyla diğerlerine oranla düşük bir sonuç (52,9 kgf) vermiştir.

TS 12055’te Sınıf 1 ve Sınıf 2 briketlere ait mukavemet limitlerine göz atıldığında; vinas, melas ve şlempe ile üretilen briket numunelerinin yalnızca aşınma sağlamlığı değerini karşıladığı, düşme ve kırılma mukavemeti açısından yetersiz oldukları belirlenmiştir. Hümik asit ile hazırlanan briket ise verdiği kötü sonuçlar ile sınır değerleri karşılayamayacak nitelikte olduğunu ortaya koymuştur.

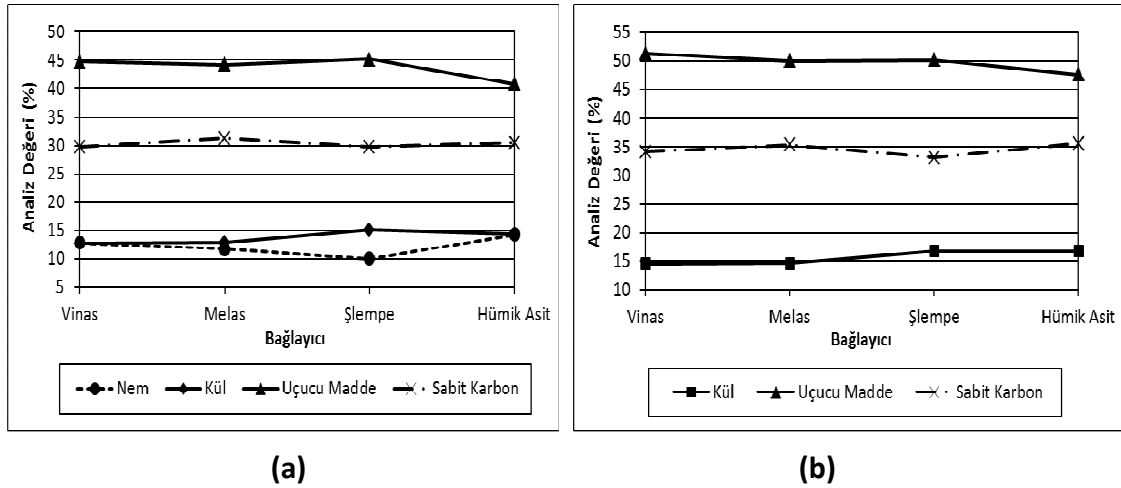


Şekil 5. 21 %14 bağlayıcı içeren briketlerin aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı dağılımları

Briketlerin bir diğer mukavemet testi olan suya dayanımları ise vinas, melas ve şlempe içeren brikette yakın sonuçlar verirken (~12-13 dak), hümik asit içeren brikette oldukça kısa bir süre (~2 dak) olarak belirlenmiştir. Bu sürelerden yola çıkılarak briketlerin suya dayanımlarının bulunmadığı söylenebilir.

%14 bağlayıcı ile üretilen briketlerin tümü TS 12055'e göre belirlenmiş ısı değeri limitini sağlarken, mekanik dayanım açısından; yalnızca vinas, melas ve şlempe katkıli briketler aşınma sağlamlığını karşıladıkları için ve diğer fiziksel testlerde yeterli sonuçları vermedikleri için evsel kullanıma uygun olmadıkları ortaya konulmuştur.

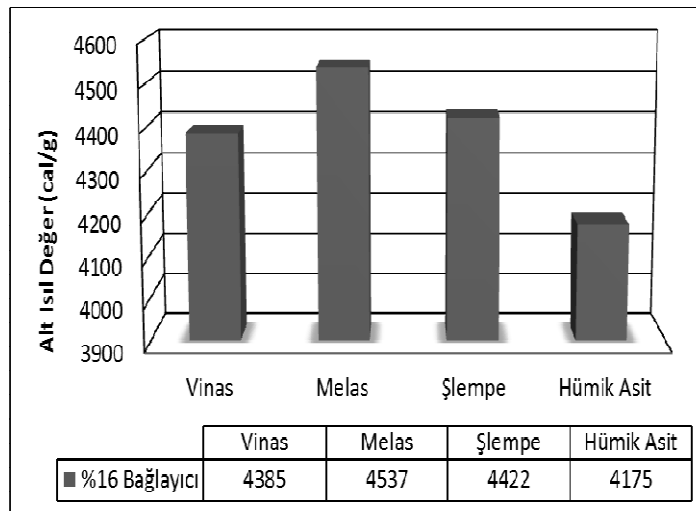
%16 Bağlayıcı Oranı: Briketleme çalışmalarında bağlayıcı oranının %16'ya çıkarılmasıyla elde edilen briketlerin kısa analiz sonuçlarının değişimi Şekil 5.22'de gösterildiği gibidir. Buna göre; nem analiz sonuçları incelendiğinde, diğer bağlayıcı oranlarındakine paralel olarak en düşük nem miktarının şlempe içeren brikette (%10,01) olduğu saptanmıştır. Bunu sırasıyla melas (%11,70), vinas (%12,76) ve hümik asit (%14,28) izlemektedir. Hümik asit içeriğindeki nem miktarının fazla olması brikette de nem oranının artmasına neden olmuştur.



Şekil 5. 22 %16 bağlayıcı içeren briketlerin kısa analizlerinin değişimi
(a: orjinal baz; b: kuru baz)

Bir diğer kısa analiz parametresi olan ve yakıt kalitesini olumsuz yönde etkileyen kül oranı; vinas ve melas katkıli brikette kuru bazda yakın sonuçlar vermiş (~%14,60) ve diğerlerine göre düşük seviyelerde kalmıştır. Hümik asit ve şlempe içeren briket numunelerinde ise kül miktarları %16,70 dolayında çıkmıştır. Briketlerin uçucu madde oranları %47 ile %51,50 aralığında değişim göstermiştir. Şlempe ve melas ile hazırlanan brikette oldukça yakın sonuçlar vermiş (~%50), vinas içeren brikette maksimuma ulaşmış (%51,31), hümik asit içeren brikette ise tam tersine minimum değer (%47,68) almıştır. Briketlerin sabit karbon içerikleri bağlayıcı bazında çok fazla değişim göstermemiş, kuru temelde %33 ile %35,5 arasında değişen değerler almıştır.

Briket numunelerinin ısı değerleri, gerek kimyasal yapılarındaki farklılık, gerekse üretildikleri bağlayıcı malzeme dolayısıyla farklı sonuçlar vermiştir. Hümik asit ile hazırlanan briketin yakıldığı zaman gram başına 4175 cal (orjinal bazda) ısı verdiği saptanmış ve bu enerjinin diğer bağlayıcılarla hazırlanan briket örneklerine nazaran düşük olduğu belirlenmiştir. Bu briket numunesinin, diğerlerine göre yüksek oranda nem içermesi ve kül oranının da nispeten yüksek olması yanma verimini negatif yönde etkilemiştir. Ayrıca hümik asitin tek başına yakılması ile verdiği enerjinin de düşük olması, alt ısı değerinin minimum değer almasına etken olarak sayılabilir. Briket numuneleri içerisinde en yüksek ısı değere sahip olanın; melas içerikli briket (Şekil 5.23) olduğu görülmüştür. Melas ile hazırlanan briket numunesi, diğer numunelere kıyasla düşük oranda nem ve kül içerdiği için, yanma sonrası yaydığı ısı miktarı da yüksek olarak tespit edilmiştir. Bu numuneyi sırasıyla; şlempe ve vinas ile üretilen briketler izlemiştir. Vinas ve melas bazlı briketlerin kül içerikleri oldukça yakın olmasına rağmen (~%14,60), vinas içerikli briketin nem değeri yaklaşık %1 fazla olduğu için, alt ısı değeri melas içerikli briketi göre 152 cal/g düşük çıkmıştır.



Şekil 5. 23 %16 bağlayıcı içeren briketlerin alt ısı değerlerinin değişimi

%16 oranında ve farklı türde bağlayıcılar kullanılarak hazırlanan briketlerin, toplam kükürt ve yanar kükürt oranlarının kuru bazda değişimi Çizelge 5.52’de verildiği gibidir. Çizelgede yer alan verilere göz atıldığında; hümik asit ile üretilen briketin %1,73 ile diğerlerine göre yüksek oranda kükürt içerdiği belirlenmiştir. Onu sırasıyla vinas, şlempe ve melas içerikli briketler izlenmiştir. Briketlerin yanar kükürt oranları

incelendiğinde ise, şlempe katkılı briketin maksimum oranda (%1,30), melas katkılı briketin toplam kükürt oranında olduğu gibi minimum oranda (%0,99) yanar kükürt içerdiği saptanmıştır. Vinas ve hümkik asit içerikli briketlerin ise sırasıyla %1,06 ve %1,17 oranında yanar kükürt içerdiği görülmüştür. Şlempe içerikli briketin toplam kükürt oranının yüksek olmamasına rağmen, yanar kükürt oranının nispeten yüksek olması yapısında bulunan %1,30 oranındaki sülfat ile açıklanabilir. Sülfat, yanma sırasında parçalanarak SO₂ gazı oluşumuna sebep olacak ve söz konusu gaz, baca gazına geçerek yanar kükürt oranının yükselmesine neden olacaktır.

Yanar kükürt oranları genel olarak değerlendirildiğinde; yalnızca melas ile hazırlanan briketin standartta öngörülen %1 değerini sağladığı belirlenmiştir.

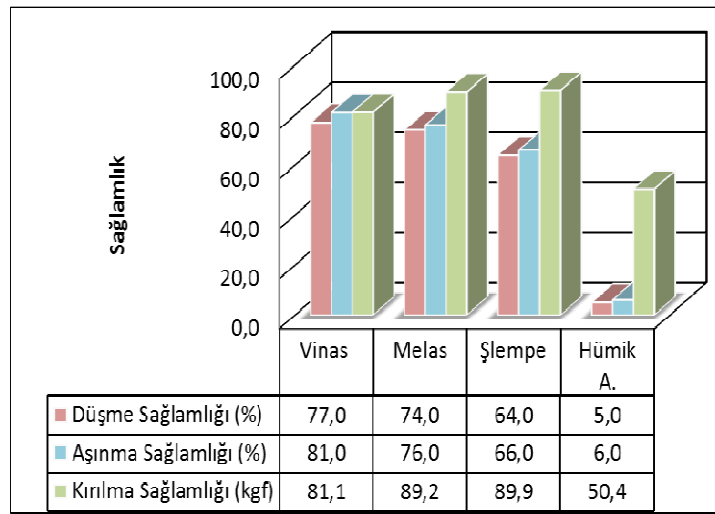
Çizelge 5. 52 %16 bağlayıcı içeren briketlerin kükürt oranları

Bağlayıcı	Toplam Kükürt (% , kb)	Yanar Kükürt (% , kb)
Vinas	1,53	1,06
Melas	1,36	0,99
Şlempe	1,45	1,30
Hümkik Asit	1,73	1,17

%16 bağlayıcı ile üretilen briketlerin mekanik dayanımlarının değişimi Şekil 5.24'te verilmiştir. Brikette yakıt özellikleri kadar önem taşıyan mukavemet değerleri, bağlayıcı bazında farklı sonuçlar almıştır. Vinas ile üretilen briket, hem düşmeye hem de aşınmaya karşı gösterdiği direnç ile, diğer briketlerden sağlam olduğunu göstermiştir. Ancak bu briketin kırılma sağlamlığı nispeten düşük sonuç vermiştir. Düşme ve aşınma sağlamlığı yönünden iyi sonuç veren bir diğer briket ise melas içerikli briket olmuştur. %74 düşme, %76 aşınma sağlamlığına sahip bu briketin, kırılma sağlamlık değeri 89,2 kgf olarak tespit edilmiştir. Şlempe ile hazırlanan briket, düşme ve aşınma sağlamlığı (%64 ve %66) açısından iyi olmayan sonuçlar verse de, yük altında gösterdiği mukavemet yönünden diğer briketlere oranla daha iyi bir sonuç vermiştir. Bağlayıcılık özelliği kötü olan hümkik asit içerikli briket ise mekanik mukavemet testlerinin hiç birinde olumlu sonuç vermemiştir (Şekil 5.24).

Briketlerin sağlamlık değerleri ile TS 12055'te yer alan değerler karşılaştırıldığında; vinas ve melasın yalnızca aşınma sağlamlığı kriterlerini sağladığı, ancak düşme sağlamlığı ve kırılma sağlamlığı açısından yetersiz oldukları görölmüştür.

Briketlerin suda dağıldıkları anın tespitine dayanan mukavemet süreleri farklı değerler almıştır. Suda dağılmadan, en fazla süre kalan briket; yaklaşık 18 dakika ile vinas katkılı briket olmuştur. Onu sırasıyla melas (~16 dak), şlempe (~15 dak), ve hümik asit (~4 dak), içeren briketler izlemiştir. Suda kalma süreleri incelendiğinde, briket numunelerinin suya mukavemetinin bulunmadığı ve dökme şeklinde piyasaya arzlarının mümkün olmadığı tespit edilmiştir.

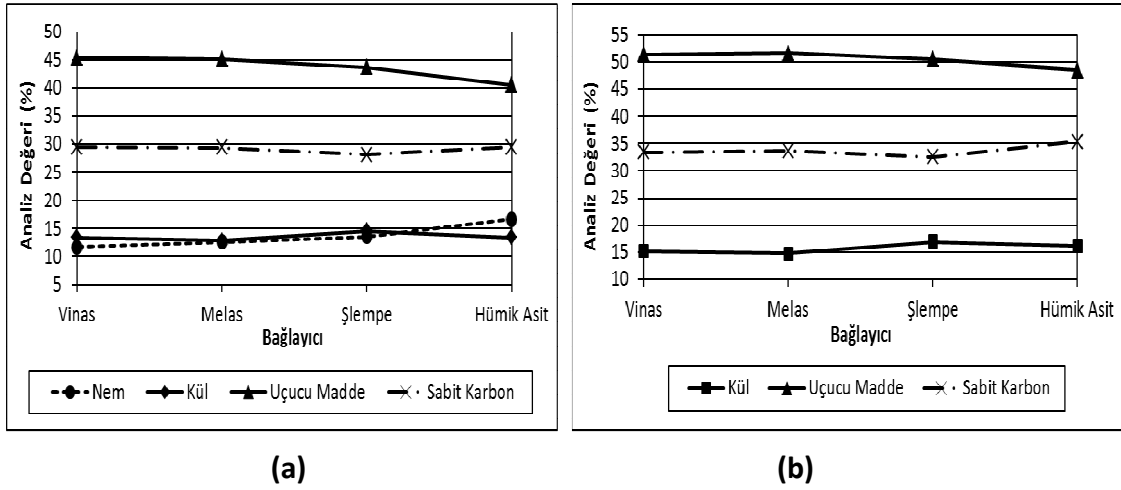


şekil 5. 24 %16 bağlayıcı içeren briketlerin aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı dağılımları

%16 oranında bağlayıcı kullanılarak elde edilen briketlerin kimyasal ve mekanik analiz sonuçlarına genel olarak bakıldığında; tümünün ısıl değer açısından standartta yer alan 4000 cal/g koşulunu sağladığı, ancak diğer analizler bakımından briketlerin iyileştirilmesinin gerektiğini belirlenmiştir.

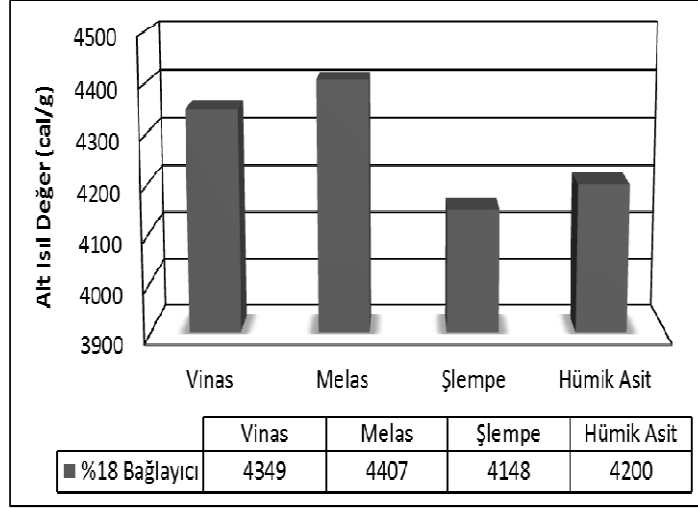
%18 Bağlayıcı Oranı: Bağlayıcı oranının %18 olarak kullanıldığı briketlerin kısa analizlerinin kuru ve orjinal bazdaki değişimleri şekil 5.25'te gösterildiği gibidir. Bu veriler, farklı bağlayıcılar ile hazırlanan briketlerin nem değerlerinin; %11 ile %17 aralığında değiştiğini göstermiştir. Vinas katkılı briket, %11,7 oranındaki nem değerleri ile diğerlerine kıyasla düşük nem içeriğine sahipken, hümik asitin ise aksine %16,66 ile en yüksek nem oranına sahip olduğu saptanmıştır.

Bir diğer kısa analiz parametresi olan kül oranlarına bakıldığında; şlempe ve hümik asit içeren briket numunelerinin kuru bazda %16'nın üzerinde kül miktarına sahip olduğu görülmüştür. Melas ve vinas katkılı briketlerin ise daha düşük oranda kül içerdiği belirlenmiştir. Bu özellikleri ile yanma verimlerinin daha iyi olabileceği söylenebilir. Vinas ve melas ile hazırlanan briketlerin kül oranlarındaki benzer sonuçlar, uçucu madde ve sabit karbon oranları için de alınmıştır. Uçucu madde için söz konusu miktarlar sırasıyla; %51,43 ve %51,68, sabit karbon için ise; %33,40 ve %33,63 olarak bulunmuştur. Kısa analiz sonuçları incelendiğinde göze çarpan bir detay da; hümik asit katkılı briketin diğerlerine oranla minimum oranda uçucu madde (%48,57), maksimum oranda sabit karbon (%35,33) içeriyor olmasıdır.



Şekil 5. 25 %18 bağlayıcı içeren briketlerin kısa analizlerinin değişimi
(a: orjinal baz; b: kuru baz)

Briketlerin yakılmaları sonucu verdikleri ısının bir ölçüsü olan alt ısı değerleri, bağlayıcılar bazında değişim göstermiştir. Buna göre, kül ve nem içerikleri düşük vinas ve melas içerikli briketlerin, şlempe ve hümik asit içerikli briketlere nazaran yüksek kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür. Nem ve kül değerlerinin minimum seviyede olması, bu örneklerin ısı değerlerini olumlu yönde etkilemiştir. Ancak hümik asit ve şlempe kullanılarak hazırlanan briketlerin nem ve kül oranlarındaki yükseliş, ısı değerlerinin nispeten düşük çıkmasına sebebiyet vermiştir (Şekil 5.26).



Şekil 5. 26 %18 bağlayıcı içeren briketlerin alt ısı değerlerinin değişimi

Briketlerin toplam kükürt oranlarının değişimi (kuru bazda) %1,40 ile %1,65 aralığında gerçekleşmiştir (Çizelge 5.53). Toplam kükürt miktarının en düşük olduğu briket; melas ile üretilen briket iken, en yüksek olduğu briket; hümik asit ile üretilen briket olmuştur. Melas katkılı briketi, sırasıyla şlempe ve vinas ile hazırlanan briketler izlemiştir. Yanar kükürt oranları ise %0,95 ile %1,25 arasında değerler almış, melas katkılı briket yine en düşük orana sahip (%0,95) olan briket olarak saptanmıştır. Melas içerikli briquete oldukça yakın bir değer (%0,96) alan vinas katkılı briket te düşük kükürt oranlı bir briket olarak belirlenmiştir. Bu briketler standartta yer alan %1 (kb) yanar kükürt oranı koşulunu karşılarken, şlempe ve hümik asitli briketlerin %1'in üzerinde değerler aldıkları tespit edilmiştir.

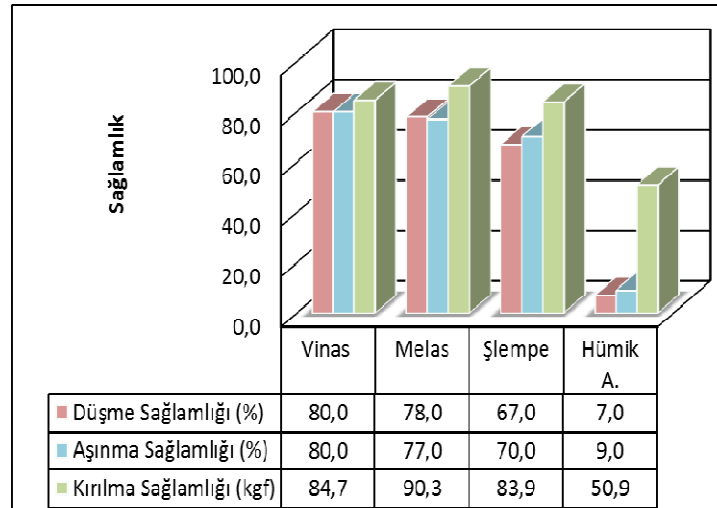
Çizelge 5. 53 %18 bağlayıcı içeren briketlerin kükürt oranları

Bağlayıcı	Toplam Kükürt (% , kb)	Yanar Kükürt (% , kb)
Vinas	1,53	0,96
Melas	1,42	0,95
Şlempe	1,50	1,22
Hümik Asit	1,63	1,12

%18 bağlayıcı içeren briketlerin mekanik mukavemet sonuçlarının değişimi Şekil 5.27'de topluca verilmiştir. Sağlamlık sonuçlarına bakıldığında; aşınma sağlamlığı en iyi briketin vinas katkılı briket (%80) olduğu, onu melas (%77) ve şlempe (%70) katkılı briketlerin izlediği görülmüştür. Düşme sağlamlığı için de benzer sonuçlar elde edilmiş, vinas katkılı briket maksimum dayanımdaki briket (%80) olarak tespit edilmiştir.

Briketlerin preste yük altında kaldıklarında gösterdikleri gerilimin bir ölçüsü olan kırılma sağlamlığında ise, melas içerikli briket 90,3 kgf ile ilk sırada yer almıştır. Bu briketi diğer sağlamlık değerleri oldukça iyi olan vinas katkılı briket takip etmiştir. Hümik asit içerikli briket ise diğer briketlerden farklı olarak, mukavemet testlerinin tümünde olumsuz sonuçlar vermiş ve dayanımının iyi olmadığını göstermiştir.

TS 12055'te Sınıf 1 ve Sınıf 2 briketlere ait mukavemet koşulları incelendiğinde; vinas, melas ve şlempe ile üretilen briket numunelerinin tümünün aşınma sağlamlığı değerini karşıladığı, düşme sağlamlığı açısından ise yalnızca vinas içerikli briketin uygun olduğu görülmüştür. Kırılma sağlamlığı testi için, briketlerin tümünün geçersiz sonuçlar verdikleri belirlenmiştir. Buna sebep olarak; briketlerin laboratuvar ortamında üretilmesi ve üretim sırasında preste yeterli basıncın sağlanamaması gösterilebilir.



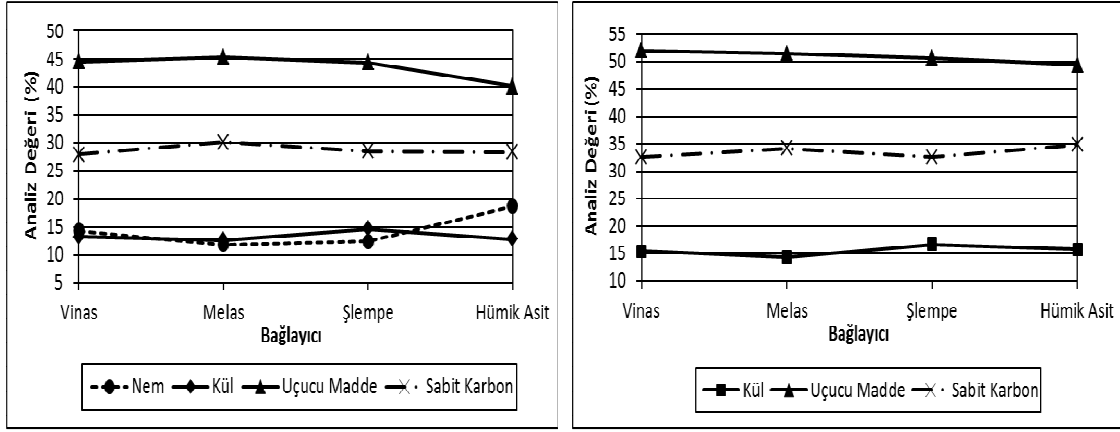
Şekil 5. 27 %18 bağlayıcı içeren briketlerin aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı dağılımları

Briketlerin suya mukavemetleri diğer bağlayıcı oranlarında olduğu gibi yetersiz sonuçlar vermiştir. Buna göre, briketlerin su içerisinde dağılmaya başlama süreleri uzun olandan kısa olana doğru; vinas (~20 dak), melas (~19 dak), şlempe (~18 dak) ve hümik asit (~3 dak) şeklinde gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar briketlerin nemli ortamda muhafaza edilemeyeceğini ve dökme halinde piyasaya gönderilmelerinin olanaksız olduğunu kanıtlamıştır.

%18 bağlayıcı ile üretilen briketlerin tümü TS 12055'e göre belirlenmiş alt ısı değer limitini (4000 cal/g) sağlarken, mekanik dayanım açısından; yalnızca vinas, hem aşınma

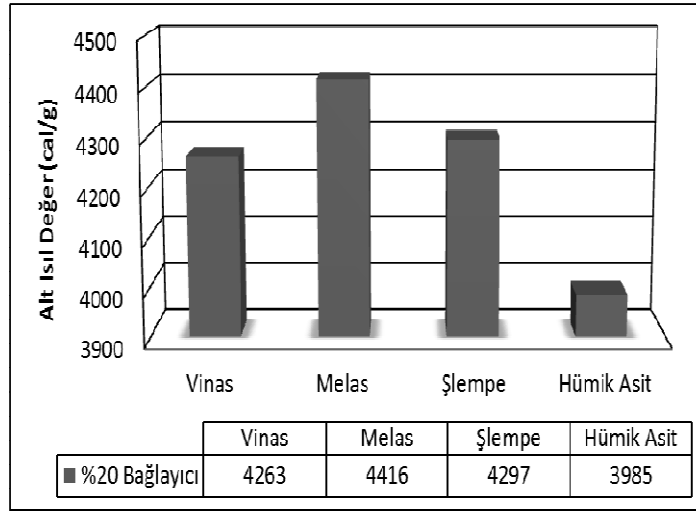
hem de düşme sağlamlığı testleri açısından yeterli sonuçlar vermiştir. Vinasın kırılma sağlamlığı açısından standartta istenen değeri verememesi problemi, endüstriyel boyutta yapılacak üretimle ve uygun presleme işlemi ile çözülebilir. Vinas katkılı briket ayrıca yanar kükürt oranındaki %0,95 değeri ile kükürt emisyonları açısından da istenen kıstası sağlamıştır. Melas içerikli briket; ısı değer, yanar kükürt ve tambur testlerinden yeterli sonuçlar alınmasını sağlasa da, düşme sağlamlığı ve kırılma sağlamlığı testleri sonucunda istenen kriterleri sağlayamamıştır. Şlempe içerikli briket; ısı değer ve aşınma sağlamlığı, hümik asit içerikli briket ise sadece ısı değer yönünden uygun sonuçlar vermiş ve diğer kalite kriterlerini karşılamada yetersiz kalmıştır.

%20 Bağlayıcı Oranı: Briketleme çalışmalarının sonlandırıldığı aşama, bağlayıcı oranının %20 olarak kullanıldığı aşama olmuştur. Farklı bağlayıcılarla hazırlanan bu briketlerin kısa analizleri, Şekil 5.28’de (orjinal ve kuru bazda) gösterilmiştir. Kurutma koşulları aynı olan briketler, içeriklerindeki kömürün homojenizasyonuna ve bağlayıcının nem içeriğine bağlı olarak, farklı nem değerleri vermiştir. %11 ile %19 aralığında değişim gösteren nem içerikleri, melas ile hazırlanan brikette minimum düzeyde (%11,83) iken, hümik asit ile hazırlanan brikette maksimum miktarda (%18,68) çıkmıştır. Vinas ve şlempe katkılı briketlerde ise nem değerleri sırasıyla %14,28 ve %12,42 olarak bulunmuştur. Briketlerin kül içerikleri de bağlayıcı türüne göre farklılık göstermiştir. Melas katkılı briket, nem içeriğinde olduğu gibi, kül miktarı açısından da diğerlerine göre düşük sonuç vermiştir. Kül oranı %14,32 olan melası; vinas (%15,44), hümik asit (%15,76) ve şlempe (%16,70) takip etmiştir. Kömür bünyesindeki düşük molekül ağırlıklı bileşenleri temsil eden uçucu madde miktarı açısından, vinas, melas ve şlempe ile üretilen briketler %50 ile %51 aralığında değişen yakın sonuçlar vermiştir. Hümik asit içerikli brikette ise bu oran %49 dolayında kalmıştır.



Şekil 5. 28 %20 bağlayıcı içeren briketlerin kısa analizlerinin değişimi
(a: orjinal baz; b: kuru baz)

Briketlerin orjinal bazdaki alt ısı değerleri, Şekil 5.29’da sütun grafikte gösterildiği gibidir. Bağlayıcı türüne göre farklılık gösteren ısı değerleri, hümk asit ile yapılan briket haricinde 4000 cal/g üzerinde değerler almıştır. Hümk asit içerikli briketin nem değeri diğer briketlere kıyasla daha yüksek olduğu için kalorifik değeri düşük çıkmıştır (3985 cal/g).



Şekil 5. 29 %20 bağlayıcı içeren briketlerin alt ısı değerlerinin değişimi

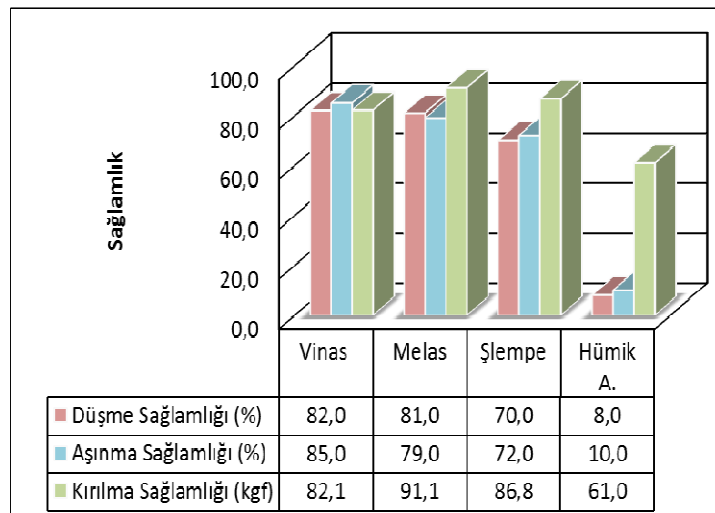
Briketlerin toplam kükürt içerikleri kuru bazda %1,30 ile %1,50 arasında değişen değerler almıştır (Çizelge 5.54). Toplam kükürt oranı vinas katkılı brikette diğerlerine oranla daha yüksek iken (%1,50), aynı briketin yanar kükürt oranı düşük (%0,96) bulunmuştur. Bu ise vinas içerikli briketin külde kükürt oranının diğer briketlerden yüksek olması ile açıklanabilir. Yanar kükürt oranı melas için de aynı değerde çıkmıştır.

Bu özellikleri ile melas ve vinas katkılı briketler, standartın yanar kükürt oranındaki %1 koşulunu karşılamış durumdadır. Hümkik asit ve şlempe içerikli briketler için yanar kükürt oranları sırasıyla; %1,09 ve %1,20 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5. 54 %20 bağlayıcı içeren briketlerin kükürt oranları

Bağlayıcı	Toplam Kükürt (% , kb)	Yanar Kükürt (% , kb)
Vinas	1,50	0,96
Melas	1,33	0,96
Şlempe	1,42	1,20
Hümkik Asit	1,42	1,09

Briketlerin fiziksel testlerinden (düşme, aşınma ve kırılma sağlamlığı) elde edilen sonuçlar Şekil 5.30'da verilmiştir. %20 oranında bağlayıcı kullanılması ile vinas ve melas katkılı briketlerin aşınma ve düşme testlerinden yeterli sonuçlar verdikleri, kırılma sağlamlık değerlerinin ise yüksek olmasına rağmen standartın gereğini sağlayamadığı belirlenmiştir. Şlempe içerikli briket; yalnızca aşınma testinde olumlu sonuç vermiş, düşme ve kırılma sağlamlığı testlerinde her ne kadar düşük değerler vermese de TS 12055 standartının kalite şartını sağlamada yetersiz kalmıştır. Hümkik asit içerikli briket ise diğer tüm bağlayıcı oranlarında olduğu gibi sağlamlık testlerinde oldukça düşük sonuçlar vermiştir ve böylece mukavemet açısından yeterli olmadığını göstermiştir.



Şekil 5. 30 %20 bağlayıcı içeren briketlerin aşınma sağlamlığı, kırılma sağlamlığı ve düşme sağlamlığı dağılımları

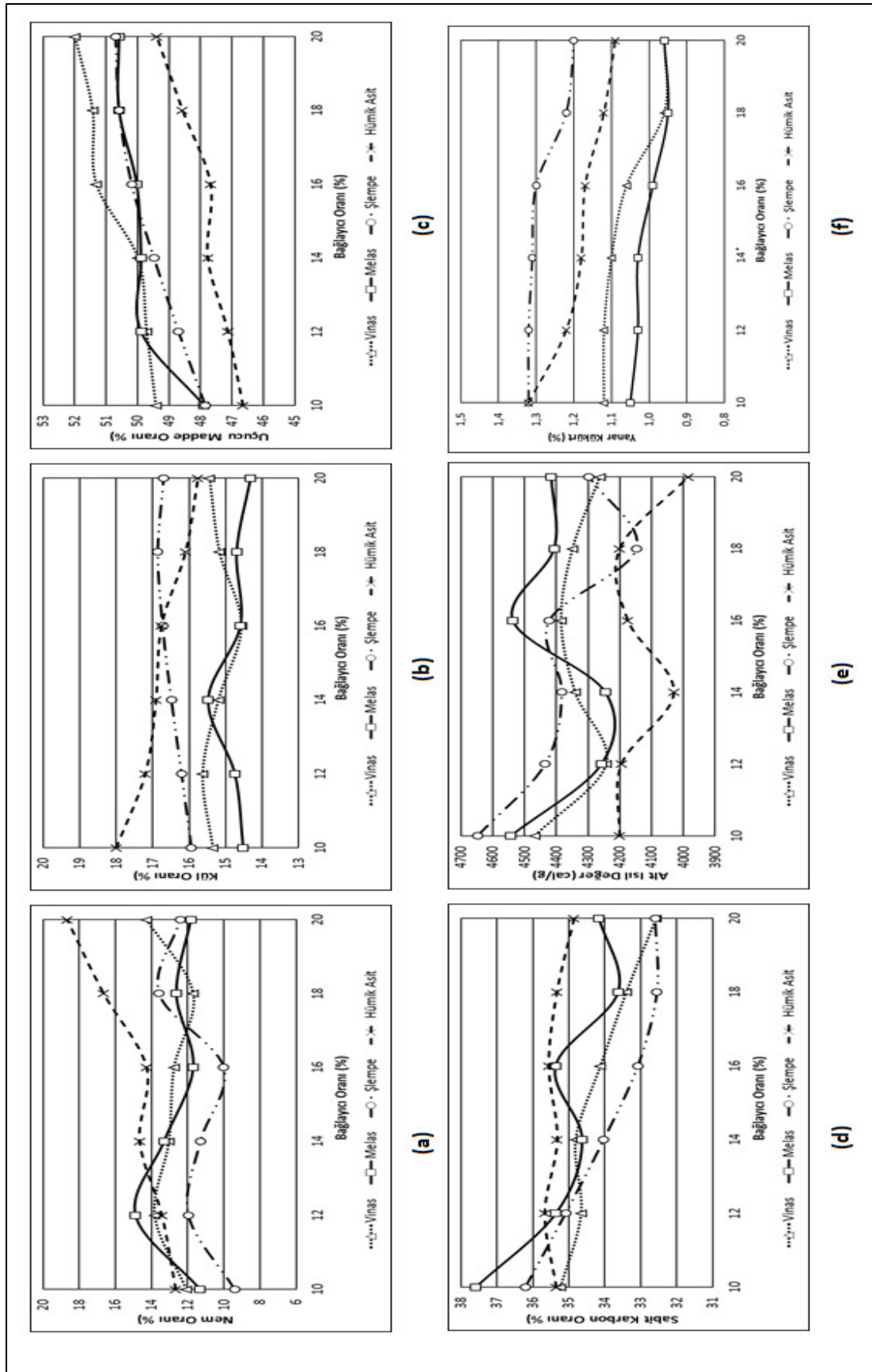
Briketlerin depolanması ve nemli ortamda muhafazası açısından önem taşıyan suya dayanım süreleri; vinas ve melas ile hazırlanan briketlerde diğerlerine göre yüksek ve yakın sonuçlar (~26 dak) vermiştir. Bu briketlerden sonra suya dayanım süresi yüksek olan briket; şlempe katkılı iken (~21 dak), en düşük olan (~5 dak) hümik asit katkılı briket olarak tespit edilmiştir. Suya dayanım süreleri incelendiğinde, briketlerin suya mukavemetlerinin bulunmadığı görülmektedir.

%20 bağlayıcı kullanılarak üretilen briketlerin yakıt özellikleri genel olarak değerlendirildiğinde; vinas ve melas içerikli briketlerin; ısı değeri, kükürt oranı, aşınma ve düşme sağlamlığı açısından standartta yer alan özellikleri karşıladığı, yalnızca kırılma mukavemetlerinin yetersiz olduğu belirlenmiştir. Şlempe içerikli briket; ısı değeri ve aşınma sağlamlığı açısından yeterli iken, hümik asit içerikli briketin, kimyasal ve mekanik analizlerin tümünde geçersiz sonuçlar verdiği söylenebilir.

5.2.2 Analizler Bazında Değerlendirme

Briketleme çalışmalarında kullanılan bağlayıcıların kimyasal analizler ve mekanik testler üzerindeki etkisi sırasıyla Şekil 5.31 ve Şekil 5.32’de verilmiştir. Standartta yer alan değerlerle doğru bir karşılaştırmak amacıyla alt ısı değeri haricindeki analizler kuru bazdaki, alt ısı değeri ise orjinal bazdaki sonuçlar kullanılarak hazırlanmıştır.

Briketlerin nem analizlerine bakıldığında; bağlayıcı türü ve oranı bazında birbirinden farklı değerler aldığı gözlenmiştir. Briketleme işlemi öncesi toz kömür ve bağlayıcılara yapılan ön ısıtma işlemleriyle nem değerlerinin kontrol altında tutulması hedeflenmiş ve nispeten başarı sağlanmıştır. Hümik asitle hazırlanan briketler genel olarak daha yüksek nem oranına sahip bulunmuş, bu sonuç kalorifik değerlerine yansımıştır. Şlempe ile hazırlanan briketlerde ise tersi bir durum (düşük nem) meydana gelmiştir (Şekil 5.31.a). Nem oranının minimum değeri verdiği briket; %10 şlempe içerikli briket (%9,41) iken, maksimum olarak tespit edildiği briket; %20 hümik asit katkılı briket (%18,68) olmuştur. Briketlerin nem oranlarındaki farklılık; kömürün homojenizasyonu, bağlayıcı oranının değişimi ve ısıtma işlemi sırasında kömür yüzeyine etki eden ısı ile alt tarafta kalan numuneye etki eden ısının farklı olmasına bağlanabilir.



Şekil 5. 31 Farklı bağlayıcılarla yapılan briketlerin kimyasal analizlerinin değişimi

Briketlerin yanma kalitesini etkileyen analizlerden olan kül analizleri; bağlayıcının türüne, oranına ve kimyasal yapısına göre değişiklik göstermiştir. Vinas ve melas kullanılarak hazırlanan briketler, kül oranı açısından diğer briketlere kıyasla düşük değerler almış ve bu değerler, briketlerin kalitesini pozitif yönde etkilemiştir. Ancak özellikle şlempe içerikli brikette, bağlayıcı oranının artmasına paralel olarak kül miktarında artış meydana gelmiştir (Şekil 5.31.b). Briketin ısı değeri azaltma yönünde saptanan bu artış, şlempenin yapısında bulunan ve yanma sonrası küle katılan inorganik maddelerin varlığıyla açıklanabilir. Kül analizinde gözlenen bir diğer farklılık ise; briketlemede kullanılan toz kömür ile briketleme sonrası kömürlerin sahip olduğu kül değerleridir. Briket kömürün, yapısında bulunan toz kömüre göre daha yüksek oranda kül içermesi; önceki bölümlerde de açıklandığı üzere, kükürt tutucu olarak eklenen ve yanma sonrası inorganik yapıda toplanan kireçle ilgilidir.

Genç kömür sınıfında değerlendirilebilecek Yeniköy linyiti ile hazırlanan briketlerin uçucu madde oranları, bağlayıcı oranlarının artmasıyla genel olarak yükseliş göstermiştir (Şekil 5.31.c). Kömür bünyesindeki hafif molekül ağırlıklı bileşikler temsil eden uçucu madde oranının en düşük olduğu briket; %10 hümitik asit içeren briket (%46,65), en yüksek olduğu briket ise %20 vinas içeren briket (%51,99) olmuştur. Kömürün uçucu madde içeriğinin %28'i aşması durumunda, briketin ısı veriminde ve dayanımında gerçekleşmesi olası düşüş, bu çalışma kapsamında gözlenmemiştir.

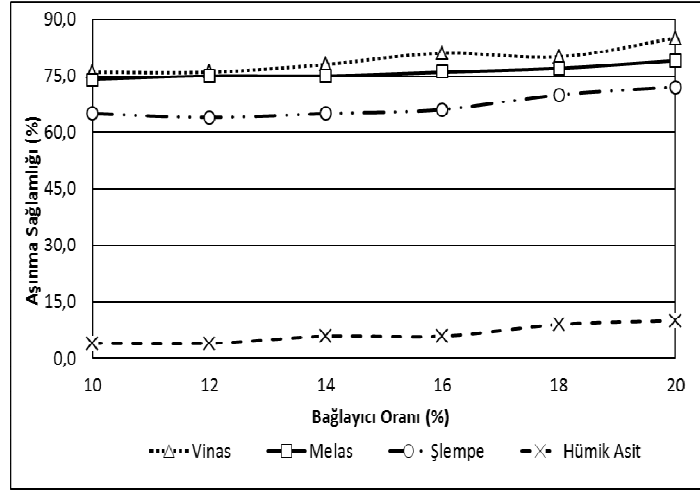
Briketlerin sabit karbon oranları; bağlayıcıların türü ve oranlarına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Briketlemede kullanılan bağlayıcıların oranlarının artmasına bağlı olarak genel olarak azalma gösteren sabit karbon oranı, uçucu madde oranı ile ters bir seyir izlemiştir (Şekil 5.31.d). Kömürde uçucu maddenin ayrılması ile geriye kalan yanabilir kütleyi temsil eden sabit karbon oranındaki azalma; briket karışımına eklenen kömür oranının azaltılması sonucu meydana gelmiştir ve kalorifik değerlere de etki etmiştir.

Şekil 5.31.e'de briketlerin orijinal bazda alt ısı değerlerinde oluşan değişim verilmiştir. Grafik incelendiğinde, briket numunelerinin hem bağlayıcı türü, hem de bağlayıcı oranı bazında farklı kalorifik değerler aldığı görülmüştür. Bu değerler; briketlerin özellikle nem içeriklerine bağlı olarak değişim göstermiştir. Nem oranları yüksek olan hümitik asit içerikli briketler genel olarak, diğer bağlayıcılarla hazırlanan briketlere nazaran düşük

sonuçlar vermiştir. %20 hümik asit ile hazırlanan briket haricinde tüm briketler TS 12055'te belirtilen alt ısı değeri sınırını (4000 cal/g) sağlamıştır.

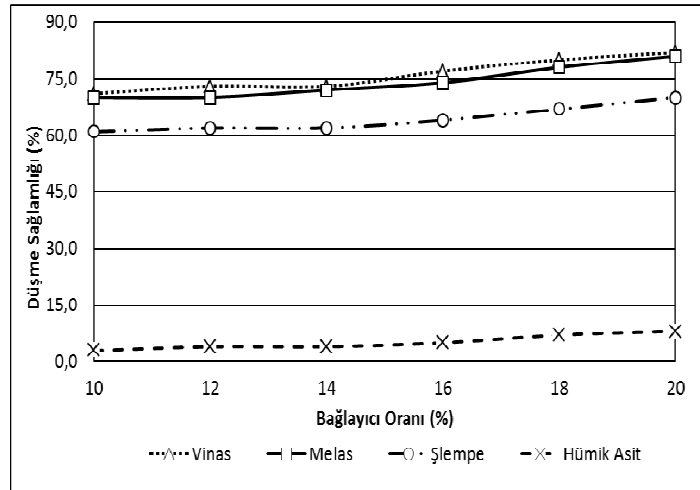
Çevreye zararlı etkide bulunması ve insan sağlığını tehdit etmesi açısından önem taşıyan, briketlerin yanar kükürt oranları, bağlayıcı oranlarının artmasıyla birlikte düşüşe geçmiştir (şekil 5.31.f). Tüm bağlayıcı türlerinde gözlenen bu azalma, briket karışımına eklenen kömür oranının azaltılması ve bağlayıcı miktarının arttırılmasıyla (karışım miktarını sabit tutmak üzere) ilişkilidir. TS 12055 standartında belirtilen %1 yanar kükürt (kuru bazda) limitini sağlayan bağlayıcılar vinas ve melas, uygun oranlar ise %18 ve %20 olarak belirlenmiştir. Buna göre yanar kükürt oranının minimum aldığı değeri %0,95 (%18 melas katkılı briket) olmuştur. şlempe ve hümik asitli briketler ise tüm analizlerde standartın öngördüğü %1 değeri üzerinde sonuçlar vermiştir.

şekil 5.32'de farklı bağlayıcılarla hazırlanmış briketlerin değişen bağlayıcı oranlarındaki aşınma sağlamlığı sonuçlarının değişimi gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere, bağlayıcı oranının artması, tüm briketlerde pozitif yönde bir etki yaratmıştır. Bunun sebebi; karışımında kullanılan fazla miktardaki bağlayıcının kömür yüzeyini tamamen kaplaması ve basınç altında çatlakları doldurarak fiziksel dayanımı arttırmasıdır. Grafikten çıkarılabilecek bir diğeri sonuç ise, hümik asitle hazırlanan briketlerin, diğeri bağlayıcılarla hazırlanmış olan briketlere göre oldukça düşük seviyede kalan sağlamlık değeriyledir. Aşınma sağlamlığı değeri ile standartta yer alan limit değeri karşılaştırıldığında; vinas, melas ve şlempe (%12 hariç) ile hazırlanan briketlerin tümünün %65 değeri karşıladığı görülmüştür. Yeterli sağlamlıkta olduğu tespit edilen bu briketler içerisinde aşınma mukavemetinin en yüksek bulunduğu briket; %85 değeri ile %20 vinas içeren briket olmuştur. Vinas içerikli briketler genel olarak aşınma dayanımında daha yüksek sonuçlar vermiştir. karşılaştırıldığında; vinas, melas ve şlempe (%12 hariç) ile hazırlanan briketlerin tümünün %65 değeri karşıladığı görülmüştür. Yeterli sağlamlıkta olduğu tespit edilen bu briketler içerisinde aşınma mukavemetinin en yüksek bulunduğu briket; %85 değeri ile %20 vinas içeren briket olmuştur. Vinas içerikli briketler genel olarak aşınma dayanımında daha yüksek sonuçlar vermiştir.



Şekil 5. 32 Farklı bağlayıcılarla yapılan briketlerin aşınma sağlamlığı testlerinin değişimi

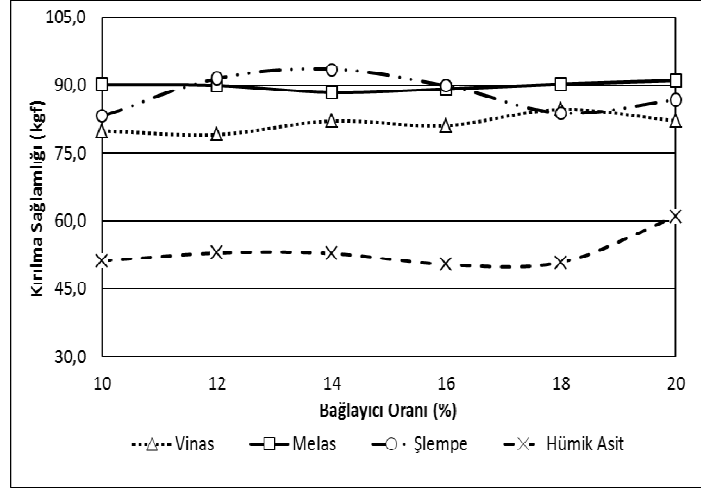
Briketlerin bir diğer fiziksel testi olan düşme sağlamlığı testi, aşınma sağlamlığına benzer şekilde sonuçlar vermiştir. Hümik asit ile hazırlanan briketler düşük sonuçlar verirken, vinas içerikli briket yine diğer bağlayıcılara oranla daha iyi sonuçlar vermiştir. TS 12055'te yer alan %80 düşme sağlamlığı sınır değerini sağlayan briketler bağlayıcılık özelliği şlempe ve hümik asite göre çok daha iyi olan; %18 ve %20 vinas katkılı briket ve %20 melas katkılı briket olmuştur. Bu briketlerin düşme sağlamlık değerleri sırasıyla; %80, %82 ve %81 olmuştur (Şekil 5.33).



Şekil 5. 33 Farklı bağlayıcılarla yapılan briketlerin düşme sağlamlığı testlerinin değişimi

Briketlerin basınç altında gösterdikleri direncin bir ölçüsü olan kırılma sağlamlıkları; vinas, melas ve şlempe ile hazırlanan briketlerde iyi sonuçlar verirken, hümik asit ile hazırlanan briketlerde diğer mukavemet testlerinde olduğu gibi kötü sonuçlar vermiştir

(Şekil 5.34). Kırılma testinde alınan olumlu sonuçlar, standartın öngördüğü değerleri (Sınıf 2 briket: 100 kg/cm², Sınıf 1 briket: 130 kg/cm²) karşılamada yetersiz kalmıştır. Kırılma sağlamlığının maksimum tespit edildiği briket; %14 şlempe katkıli briket, söz konusu değer ise 93,5 kgf olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. 34 Farklı bağlayıcılarla yapılan briketlerin kırılma sağlamlığı testlerinin değişimi

5.3 Briketleme Maliyet Analizleri

Toz kömür önceki senelerde sanayide kullanım olanağı bulamadığı için briketlemede ucuz bir kaynak olarak değerlendiriliyordu. Ancak günümüzde bu kömürün tekstil sektörü başta olmak üzere birçok sektörde yakma sisteminde kullanılmaya başlanması ile fiyatlarında artış meydana gelmiştir. Gerek artan toz kömür fiyatları, gerekse bağlayıcı maliyetleri göz önüne alındığında briketleme prosesinin düşük maliyetli bir işlem olmadığı görülmektedir. Bu sebeple briketleme üretiminde kullanılan hammaddelerin, yardımcı maddelerin ve bu maddelerin oranlarının minimize edilmesi mali açıdan oldukça önem taşımaktadır.

Farklı bağlayıcılar kullanılarak elde edilen briketlerin maliyet analizleri kapsamında, hammaddeler ve yardımcı maddelere ait birim fiyatlar belirlenmiş (Çizelge 5.55), bu fiyatlardan yola çıkılarak farklı bağlayıcı oranlarındaki briketlerin ton başına maliyetleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.56). Briketlerin ton başına maliyetleri incelendiğinde, en düşük maliyetli briketin (164,72 TL); bağlayıcı oranının minimum düzeyde kullanıldığı ve diğer katkı maddelerine göre ucuz olan şlempe ile hazırlanan %10 katkıli briket olduğu saptanmıştır. Bu briketi sırasıyla; vinas, melas ve hümik asit ile hazırlanan briketler

izlemiştir. Bağlayıcı oranının artışına bağlı olarak artış gösteren briket fiyatları, birim maliyeti oldukça yüksek olan hümik asitte maksimum seviyeye ulaşmıştır.

Çizelge 5. 55 % Briketlemede kullanılan malzemelerinin birim maliyetleri

Malzeme	Fiyat (TL/ton)
Toz kömür (0-3 mm)	168,54
Söndürülmüş kireç	135,00
Vinas	247,80
Melas	436,75
Şlempe	140,40
Hümik asit	6440,00

Çizelge 5. 56 Farklı bağlayıcılarla üretilen briketlerin maliyetleri

Bağlayıcı Oranı	İçerik	Vinas	Melas	Şlempe	Hümik Asit
10%	30 kg kireç	4,05	4,05	4,05	4,05
	100 kg bağlayıcı	24,78	43,68	14,04	644,00
	870 kg toz kömür	146,63	146,63	146,63	146,63
	1 ton briket	175,46 TL	194,35 TL	164,72 TL	794,68 TL
12%	30 kg kireç	4,05	4,05	4,05	4,05
	120 kg bağlayıcı	29,74	52,41	16,85	772,80
	850 kg toz kömür	143,26	143,26	143,26	143,26
	1 ton briket	177,05 TL	199,72 TL	164,16 TL	920,11 TL
14%	30 kg kireç	4,05	4,05	4,05	4,05
	140 kg bağlayıcı	34,69	61,15	19,66	901,60
	830 kg toz kömür	139,89	139,89	139,89	139,89
	1 ton briket	178,63 TL	205,08 TL	163,59 TL	1.045,54 TL
16%	30 kg kireç	4,05	4,05	4,05	4,05
	160 kg bağlayıcı	39,65	69,88	22,46	1030,40
	810 kg toz kömür	136,52	136,52	136,52	136,52
	1 ton briket	180,22 TL	210,45 TL	163,03 TL	1.170,97 TL
18%	30 kg kireç	4,05	4,05	4,05	4,05
	180 kg bağlayıcı	44,60	78,62	25,27	1159,20
	790 kg toz kömür	133,15	133,15	133,15	133,15
	1 ton briket	181,80 TL	215,81 TL	162,47 TL	1.296,40 TL
20%	30 kg kireç	4,05	4,05	4,05	4,05
	200 kg bağlayıcı	49,56	87,35	28,08	1288,00
	770 kg toz kömür	129,78	129,78	129,78	129,78
	1 ton briket	183,39 TL	221,18 TL	161,91 TL	1.421,83 TL

Evsel yakıt olarak kullanılan briketlerin günümüz satış fiyatı 288,36 TL/ton'dur. Bu değer ile Çizelge 5.56'da yer alan maliyet fiyatları karşılaştırıldığında, özellikle hümik asit içeren briketlerin kardan ziyade zarara yol açtığı görülmüştür. Melas katkılı brikette kar oranı çok düşükken, vinas ve şlempe katkılı briketlerde nispeten yüksek olmaktadır. Kimyasal analizler ve fiziksel testler açısından diğer briketlere nazaran en iyi sonuçların alındığı %18 vinas katkılı briket için kar marjının %36,95 olduğu yapılan hesaplamalarla ortaya koyulmuştur.

5.4 Endüstriyel Ölçekli Briketleme Analiz Sonuçları

Laboratuvar ölçekli çalışmalar baz alınarak endüstriyel ölçekte briketleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada %18 oranında vinas kullanılmış, kireç oranı ise %5 olarak alınmıştır. Kireç oranının laboratuvar ölçekli çalışmaya (%3) oranla yüksek tutulmasının nedeni, baca gazına verilen kükürt oranının %1'in üzerinde sonuçlar vermesidir. Endüstriyel üretim sonucu elde edilen briketlere uygulanan kimyasal analizler ve mekanik testlere ait sonuçlar Çizelge 5.57'de verilmiştir.

Çizelge 5. 57 Endüstriyel ölçekte üretilen briketlerin analiz sonuçları

Analizler		Orjinal Kömür	Kuru Kömür	Kuru,Külsüz Kömür
Nem	%	13,63		
Kül	%	15,64	18,11	
Uçucu Madde	%	41,01	47,48	50,82
Sabit Karbon	%	29,72	34,41	49,18
TOPLAM	%	100,00	100,00	
Toplam Kükürt	%	1,15	1,33	
Külde Kükürt	%	0,36	0,42	
Yanar Kükürt	%	0,79	0,91	
Alt Kalori Değeri	cal/g	4074	4837	
Üst Kalori Değeri	cal/g	4314	4995	
Aşınma Sağlamlığı	%	71		
Düşme Sağlamlığı	%	94		
Kırılma Sağlamlığı	kgf	179		
Isıl Verim	%	83		
Duman Emisyon Oranı	g/kg	1,80		

Analiz sonuçları incelendiğinde; briketlerin ısı değeri ve yanar kükürt sonuçlarının TS 12055'te yer alan kriterleri sağladığı görülmektedir. Kimyasal analizlerin yanı sıra mekanik dayanım testlerinde de bu formülasyonla başarı sağlanmış, kırılma, aşınma ve düşme sağlamlığı testlerinin tümünden geçerli sonuçlar elde edilmiştir. Briketlere ait ısı verim ve duman emisyon oranı değerleri de standartın belirttiği değerleri karşılamaktadır.

Endüstriyel ölçekteki çalışmada kireç oranının %5 olarak kullanılması her ne kadar kül oranında artışa sebep olsa da mukavemet testlerini pozitif yönde etkilemiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

İstanbul Yeniköy bölgesine ait linyit kömürünün farklı türde (vinas, melas, şlempe ve hümkik asit) ve oranda (%10-20) bağlayıcılar kullanılarak briketlenme performansının araştırılması ve elde edilen başarılı sonuçların endüstriyel ölçekli briketleme üretimine uygulanması şeklinde gerçekleştirilen bu çalışmanın genel sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Briketleme işleminde kullanılan katkı maddeleri ve bu maddelerin karışımındaki oranlarının değiştirilmesi, kimyasal analizler ve mekanik dayanım testlerinin sonuçlarını değiştirmiştir.
- Kömür bünyesinde bulunan ve çevreye olumsuz etkileri söz konusu olan kükürt oranını düşürerek, istenen seviyeye çekmek üzere katkı maddesi olarak kullanılan söndürülmüş kireç, olumlu sonuçlar alınmasına yardımcı olmuştur. Bu katkının artan oranlarda kullanılması ile kükürt içeriğinde düşüş sağlanmıştır. Ancak kireç, kömürün yanması sonrası açığa çıkan SO_2 ile tepkime vererek $CaSO_4$ haline dönüştürülmesini sağladığı ve oluşan bu bileşen inorganik matriste (külde) tutulduğu için kül oranında artış meydana gelmiştir. Söz konusu artış briket kalitesini olumsuz etkileyecek düzeyde gerçekleşmemiştir. Kirecin briketler üzerindeki bir diğer olumlu etkisi ise fiziksel dayanımları arttırmış olmasıdır.

- Briketlerin nem analizlerinin, bağlayıcı oranı ve türü bazında birbirinden farklı değerler aldığı saptanmıştır. Briketleme işleminden önce toz kömür ve bağlayıcılara uygulanan ön ısıtma işlemleriyle nem değerlerinin kontrol altında tutulması amaçlanmış ve bu şekilde kalorifik değerlerin azalmaması sağlanmıştır. Bu işlem yalnızca hümitik asitle hazırlanan briketlerde olumlu sonuç vermemiş ve bu briketlerin genel olarak daha yüksek nem oranına sahip olduğu bulunmuştur, bu sonuç kalorifik değerlerine yansımıştır. Şlempe ile hazırlanan briketlerde ise tersi bir durum (düşük nem) meydana gelmiştir. Nem oranının en düşük olduğu briket %10 şlempe içerikli briket (%9,41) iken, en yüksek olarak tespit edildiği briket %20 hümitik asit katkılı briket (%18,68) olmuştur.

- Briketlerin yanma davranışlarını etkileyen kül analizleri; kullanılan bağlayıcının türüne, oranına ve kimyasal yapısına göre farklılık göstermiştir. Bağlama etkinliği şlempe ve hümitik asite oranla daha iyi olan vinas ve melas ile hazırlanan briketler, kül oranı açısından diğer briketlere kıyasla düşük değerler almış ve bu değerler, briketlerin kalitesini olumlu yönde etkilemiştir. Ancak şlempe içerikli brikette, bağlayıcı oranının artırılmasıyla birlikte kül miktarında artış oluşmuştur. Briketin ısı değeri azaltma yönünde ilerleyen bu artış, şlempenin yapısında bulunan ve yanma sonrası küde biriken inorganik maddelerin varlığına bağlanabilir.

- Kömür yapısında yer alan düşük molekül ağırlıklı bileşenleri temsil eden uçucu madde oranları, briketlemede kullanılan bağlayıcıların oranının %10'dan başlayarak, %20'ye kadar yükseltilmesiyle genel olarak artış göstermiştir. Uçucu madde miktarının minimum olduğu briket; %10 hümitik asit içeren briket (%46,65 kb), maksimum olduğu briket ise %20 vinas içeren briket (%51,99 kb) olmuştur. Briketleme hammaddesi olarak kullanılan toz kömürün uçucu madde oranı %44,32 iken, bu oran briket haline getirilmiş kömürlerde bağlayıcının etkisiyle artmıştır.

- Farklı bağlayıcılar ile üretilen briketler içerisinde en düşük alt ısı değere sahip olanın; %20 hümitik asit ile hazırlanan briket (3985 cal/g) olduğu saptanmıştır. Söz konusu bağlayıcı ile hazırlanan briketler, nem değerlerinin yüksek olmasına bağlı olarak, diğer bağlayıcılarla hazırlanan briketelere göre düşük ısı değere sahip bulunmuştur. Vinas, melas ve şlempe katkılı briketlerin, tüm bağlayıcı oranlarında, standartın öngördüğü

4000 cal/g üzerinde alt ısı değere sahip oldukları ve piyasaya arzlarında engel bulunmadığı ortaya konulmuştur.

- Briketlerde bağlayıcı oranının artırılmasıyla birlikte yanar kükürt oranlarında azalma saptanmıştır. Kullanılan tüm bağlayıcı türlerinde gözlenen bu azalma, briket karışımına eklenen kömür oranının azaltılması ve bağlayıcı miktarının artırılmasıyla (karışım miktarını sabit tutmak üzere) ilişkilendirilebilir. TS 12055 standartında yer alan %1 yanar kükürt (kuru bazda) limitini sağlayan bağlayıcılar; vinas ve melas, uygun oranlar ise %18 ve %20 olmuştur. %18 oranında vinas ve melas içeren briketler için edilen sonuçlar sırasıyla; %0,96 ve %0,95, %20 oranında ise her ikisi için %0,96 olarak belirlenmiştir. Vinas ve melas içerikli briket kömürlerin, üretildikleri toz kömüre göre yanar kükürtlerindeki maksimum azalma oranları sırasıyla %37,25 ve %37,91 olarak bulunmuştur. Şlempe ve hümik asit kullanılarak hazırlanan briketler ise tüm analizlerde standartın öngördüğü %1 değerinin üzerinde sonuçlar vermiştir.

- Briketlerin fiziksel dayanım testleri, kullanılan bağlayıcı türü ve oranına göre değişiklik göstermiştir. Buna göre;

Briketlerin ufalanmaya karşı gösterdikleri direncin bir ölçüsü olan aşınma sağlamlıkları, bağlayıcı oranının artmasıyla birlikte yükselmiştir. Bağlama kabiliyeti oldukça iyi olan vinas ve melas ile hazırlanan briketler, diğer briketlere göre oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Şlempe içerikli briketler, bu briketleri izlemiş ve hümik asitli briketlere nazaran olumlu sonuçlar vermiştir. Üretim sonrası henüz kalıptan çıkarılırken dağılmaya başlayan hümik asit içerikli briketlerin ise çok düşük aşınma mukavemetine sahip oldukları gözlenmiştir.

Briketlerin aşınma sağlamlığı testlerinden elde edilen sonuçlar ile standartta yer alan limit değerler karşılaştırıldığında; vinas, melas ve şlempe (%12 hariç) ile hazırlanan briketlerin tümünün, Sınıf 2 briket için belirlenmiş %65 değerini karşıladığı görülmüştür. Sınıf 1 briket için belirlenmiş %75 aşınma sağlamlığı kriterini sağlayan briketler ise; %15 ve üzerinde vinas ve %18 ve üzerinde melas kullanılarak üretilen briketler olmuştur. Bu kapsamda piyasaya arzları mümkün olan briketler içerisinde aşınma mukavemetinin en yüksek bulunduğu briket; %20 vinas içeren briket (%85)

olmuştur. Aşınma mukavemetinin minimum düzeyde bulunduğu briket ise %10 hümik asit ile hazırlanan briket olmuş, söz konusu değer ise %3 olarak bulunmuştur.

Briketlerin düşme sağlamlığı sonuçları, aşınma sağlamlığı sonuçları ile paralellik göstermiştir. Bağlayıcı oranlarının arttırılması dayanım değerleri üzerinde pozitif bir etki yaratmıştır. Vinas ve melas katkılı briketler yüksek sonuçlar verirken, şlempe ve özellikle de hümik asit ile hazırlanmış briketler düşük sonuçlar vermiştir.

Briketlerin düşme sağlamlığı testlerinden elde edilen sonuçların, TS 12055'te yer alan limit değerleri karşılayıp karşılamadığına bakıldığında, %18 ve %20 vinas katkılı briketler ile %20 melas katkılı briketin Sınıf 2 briket kategorisindeki %80 değerini karşıladığı görülmüştür. Bu briketler içerisinde maksimum düşme sağlamlığına sahip olan briket; %82 değeri ile %20 vinas katkılı briket olmuştur. Düşme sağlamlığının minimum olduğu briketin ise %3 değeri ile %10 hümik asit katkılı briket olduğu saptanmıştır.

Briketlerin basınca karşı mukavemetlerini yansıtan kırılma sağlamlıkları; kullanılan bağlayıcı türüne göre farklılık göstermiş ve değişen bağlayıcı oranlarından etkilenmiştir. Bağlayıcı oranlarına bağlı gerçekleşen bu değişim, sürekli artan veya azalan şekilde meydana gelmemiştir. Kırılma mukavemetleri; vinas, melas ve şlempe ile hazırlanan briketlerde iyi sonuçlar verirken, hümik asit ile hazırlanan briketlerde diğer mukavemet testlerinde olduğu gibi olumsuz sonuçlar vermiştir.

Briketlerin kırılma sağlamlığı testlerinden alınan sonuçlar ile standartta belirtilmiş sınır değerler (Sınıf 2 briket: 100 kg/cm², Sınıf 1 briket: 130 kg/cm²) karşılaştırıldığında, briketlerin hiçbirinin uygun sağlamlığa sahip olmadığı belirlenmiştir. Kırılma sağlamlığının en yüksek olduğu briket; %14 şlempe katkılı briket, söz konusu değer ise 93,5 kgf olarak belirlenmiştir. Kırılma sağlamlığının en düşük olduğu briket (50,4 kgf) ise %16 hümik asit ile hazırlanan briket olmuştur.

Briketlerin suya karşı mukavemetleri, diğer fiziksel testlerde olduğu gibi farklılık göstermiştir. Briketlere eklenen bağlayıcı oranının %10'dan başlayarak, %20'ye değin arttırılması genel olarak suya dayanım sürelerini yükseltmiştir. Vinas ve melas ile üretilmiş briketlerin benzer sonuçlar verdiği ve şlempe ve hümik asitle hazırlanan briketlere oranla daha yüksek süre dayandıkları belirlenmiştir. Suya mukavemet süresi en yüksek olan briket; %20 melas katkılı briket, söz konusu süre ise 26 dakika 40 saniye

olarak saptanmıştır. Su içerisinde en kısa sürede dağılan briket ise, 1 dakika 3 saniye ile %10 hümik asit katkılı briket olmuştur. Bahsi geçen suya dayanım süreleri; üretilen briketlerin nemli ortamda depolanmaması gerektiğini ve dökme şeklinde piyasaya arzlarının mümkün olmadığını göstermiştir. Bu kapsamda suya dayanımı bulunmayan briketlerin lamineli torbalarda satışa sunulması doğru olacaktır.

- Briketlerin maliyetleri, kullanılan bağlayıcı türü ve oranına göre değişiklik göstermiştir. Buna göre en ekonomik bağlayıcı şlempe iken, en yüksek maliyetli olan hümik asit olmuştur. Briketlerin ton başına maliyetlerine göz atıldığında; en düşük maliyetli briketin (164,72 TL); bağlayıcı oranının minimum düzeyde kullanıldığı ve diğer katkı maddelerine göre ucuz olan şlempe ile hazırlanan %10 katkılı briket olduğu belirlenmiştir. Bu briketi sırasıyla; vinas, melas ve hümik asit ile hazırlanan briketler takip etmiştir. Briket karışımında kullanılan bağlayıcı oranının artışına paralel olarak yükselen briket fiyatları, %20 hümik asit içerikli brikette maksimum seviyeye (1421,83 TL/ton) erişmiştir.

- Endüstriyel ölçekli briket üretimi için deneysel çalışmalar kapsamında elde edilen veriler birlikte irdelenmiştir. Buna göre, briketlerin kimyasal analizleri, dayanıklılık testleri ve maliyet analizleri göz önünde bulundurulmuş ve üretim için optimum koşullar belirlenmiştir.

Hümik asit; bağlayıcılığının kötü olmasının yanısıra verdiği olumsuz sonuçlar ve yüksek maliyeti nedeniyle öncelikli olarak elenmiştir. Bağlama kabiliyeti nispeten iyi olan ve oldukça ekonomik olan şlempe; yanar kükürt oranı ve sağlamlık testlerinde verdiği yetersiz sonuçlar nedeniyle kullanılmamıştır.

Bağlayıcılığı iyi olan, sağlam ve kaliteli briketler üretilmesine olanak sağlayan melas ve vinas karşılaştırıldığında; vinasın düşük maliyetli olması, literatürde daha önce kullanılmamış olması ve kullanımda melas kadar enerji gerektirmemesi gibi avantajlar içerdiği tespit edilmiştir. Melas laboratuvar testlerinde olumlu sonuçlar vermesine rağmen, literatürde sıkça tercih edilmesi ve maliyetinin daha yüksek olması sebebiyle kullanıma uygun görülmemiştir. Uygun bağlayıcı olarak seçilen vinasın, hangi oranda kullanılacağına karar verilirken, yine analiz sonuçları göz önünde tutulmuştur. Buna göre; fiziksel dayanım testlerinde artan vinas oranının pozitif bir etki oluşturduğu

görülmüştür. %10 oranından başlayarak %20 oranına değin aşınma sağlamlığı test sonuçlarında artış görülmüştür. Kırılma sağlamlığında ise bu artışın %18 değerine kadar devam ettiği, %20 oranında vinas kullanımında kırılma mukavemetinde daha düşük bir sonuç elde edildiği belirlenmiştir. Analiz parametreleri, fiziksel testler, maliyet ve özgünlük kıstasları göz önünde bulundurularak en uygun briket bağlayıcısı vinas seçilmiştir. Briketlemede kullanılacak bu bağlayıcı için kullanılacak oran ise %18 olarak saptanmıştır.

6.2 Öneriler

- Briketleme çalışmaları kapsamında, kömür yıkama işlemi sonrası atık madde olarak elde edilen, 0-1 mm partikül boyutundaki şlam kullanılabilir. Bu şekilde sanayide kullanım olanağı bulamayan ürünün değerlendirilmesi sağlanacaktır.
- Briketleme prosesinde polimer bazlı bağlayıcılar kullanılarak, elde edilen briketlerin kimyasal analizleri ve mekanik testleri incelenebilir.
- Briketlerin suya karşı dayanımını arttırmak için inorganik bağlayıcılar veya petrol kökenli bağlayıcılar tercih edilebilir.
- Briketleme işlemi farklı presleme basınçları altında gerçekleştirilebilir ve buna bağlı olarak elde edilen briketlerin özellikle mekanik mukavemet testleri irdelenebilir.
- Briketler, farklı şekillerde kalıplar kullanılarak; silindirik, yastık, yumurta, dikdörtgen veya tetrahedral formlarda üretilebilir ve üretilen bu briketlerin yanma özellikleri incelenebilir.
- Presleme işlemi sonrası elde edilen briketler farklı sıcaklıklarda ısıtılabilir ve tabii tutulabilir. Bu şekilde morfolojik açıdan daha düzgün, mekanik sağlamlık açısından ise daha dayanıklı briketler üretilmesi sağlanabilir.
- Briketlerde baca gazına geçen kükürt oranını kontrol altında tutmak üzere, karışıma katkı maddesi olarak; dolomit, manyezit veya olivin eklenebilir.
- Briketleme işlemi, kömür ile belli oranda biyokütlenin karıştırılmasıyla veya sadece biyokütle kullanılarak gerçekleştirilebilir ve bu şekilde yanma kalitesi farklı yakıtların eldesi sağlanabilir.

- Briket kömür örneklerine termogravimetrik analiz uygulanarak ısı davranışları incelenebilir. Farklı gaz atmosferleri altında gerçekleştirilebilecek bu işlem ile briketlerin yanmaya başladıkları sıcaklıklar, tepkimelerin başladığı ve tamamlandığı sıcaklıklar belirlenebilir. Bu çalışma neticesinde elde edilen TG-DTG eğrilerinden faydalanılarak, farklı matematiksel yöntemlerle kinetik analiz yapılabilir.
- Briketleme prosesi öncesinde hammadde olarak kullanılan toz kömüre karbonizasyon işlemi uygulanabilir. Maliyeti bir miktar arttıracak bu ısı işlemi ile, ısı değeri yüksek, yakıt özellikleri iyi briket üretimi mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Thomas, L., (2012). Coal Geology, Second Edition, Wiley, England.
- [2] Bulut, B., (2010). Yüksek Fırınlarda Verim Artırmak Amacıyla Koklaşabilir Yerli ve İthal Kömürlerin Optimum Harmanlama Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [3] Ural, S., Yıldırım, M. ve Anıl, M., (2002). “Kömürün Mineral Madde İçeriğinin Toz Kömür Yakma Sistemindeki Rolü”, 13. Türkiye Kömür Kongresi, 29-31 Mayıs 2002, Zonguldak.
- [4] Anderson, L.L., (1995). Coal Liquefaction, Wiley.
- [5] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Kömür Nedir, www.enerji.gov.tr, 21 Eylül 2015.
- [6] Tekeş, A.T., (2007). Katı Yakıtların Şişme Özelliklerinin İncelenmesi ve Sıvılaştırılması, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [7] Keskin, S., (1998). Suda Çözünmeyen Bağlayıcı Üretimi, Bağlayıcı Cins ve Miktarının Kömür Briket Üretimine ve Kalitesine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [8] Nakoman, E., (1971). Kömür, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, Eğitim Serisi No.8, Ankara.
- [9] Flores, R., (2013). Coal and Coalbed Gas, Elsevier, USA.
- [10] Gülen, J., (2007). “Mineral Matter Identification in Nallıhan Lignite by Leaching with Mineral Acids”, Energy Sources Part A, 29 (3): 231-237.
- [11] DPT, (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara.
- [12] Karr, C., (1978). Analytical Methods for Coal and Coal Products, Cilt I, Academic Press, London.
- [13] Speight, J.G., (2013). The Chemistry and Technology of Coal, Third Edition, Cilt I, CRC Press, USA.
- [14] Ateşok, G., (2004). Kömür Hazırlama ve Teknolojisi, Beril Yayıncılık ve Matbaacılık Ltd. Şti., 1. Baskı, İstanbul.

- [15] TKİ, (2009). Kömür Sektör Raporu (Linyit), Ankara.
- [16] Gülen, Ş. ve Yalap, H., (2003). Çimento Sektörüne Genel Bir Bakış, http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/31b1ac54cc8db48_ek.pdf, 6 Ekim 2015.
- [17] Şahin, S., (2001). "Türkiye’de Tuğla-Kiremit Sanayiinin Genel Görünümü ve Çorum İli Örneği", Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 21 (2): 19-41.
- [18] Parlak, A., (2010). Tunçbilek Linyitlerinin Briketlenmesi ve Yanma Esnasında Kükürdün Külde Tutulması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [19] Güler, M., (2011). "Dünyada ve Türkiye’de Kömüre Genel Bir Bakış", 8. Enerji Sempozyumu, 17-19 Kasım 2011, İstanbul.
- [20] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, www.enerji.gov.tr, 07 Ekim 2015.
- [21] TKİ, (2015). Kömür Sektör Raporu (Linyit), Ankara.
- [22] DEK-TMK, (2014). Enerji Raporu 2013, Yayın No: 22, Ankara.
- [23] DEK-TMK, (2009). Enerji Raporu 2009, Yayın No: 13, Ankara.
- [24] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2013 Yılı Genel Enerji Denge Tablosu, www.enerji.gov.tr, 08 Ekim 2015.
- [25] Türkiye Taşkömürü Kurumu, (2015). TTK İstatistik Yıllığı 2014, www.taskomuru.gov.tr, 08 Ekim 2015.
- [26] Xia, W., Xie, G. ve Peng, Y., (2015). "Recent Advances in Beneficiation for Low Rank Coals", Powder Technology, 277: 206-221.
- [27] Iskhakhov, K. A., Schastlivtsev, E. L. ve Kondratenko, Y. A., (2008). "Dry Enrichment of Coal", Coke and Chemistry, 51 (11): 431-433.
- [28] Gagarin, S.G., (2009). "Coal Enrichment with Separation into Fractions by Density", Coke and Chemistry, 52 (3): 89-93.
- [29] Ateşok, G., (1986). Kömür Hazırlama, Kurtiş Matbaacılık, 1. Baskı, İstanbul.
- [30] DEK-TMK, (2010). Temiz Kömür Teknolojileri Raporu, Yayın No: 15, Ankara.
- [31] Alderman, J. K., (2001). "Improving Power Plant Performance and Reducing Emissions Through The Use of Pneumatic Dry Cleaning for Low Rank Coal", SME Annual Meeting, 26-28 February 2001, Denver, Colorado.
- [32] Hacıfazlıoğlu, H., (2012). "Kuru Kömür Zenginleştirme Yöntemlerinin Tanıtılması ve Bazı Türk Kömürlerinin Temizlenmesi İçin FGX Cihazının Denenmesi", Madencilik, 51 (2-3): 29-42.
- [33] Erdoğan, Ş., (2014). Konya Bölgesindeki Linyitlerin Yıkanabilirliği ve Termal Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- [34] Sripriya, R., Dutta, A., Dhall, P.K., Narasimha, M., Kumar, V. ve Tiwari, B.S., (2006). "An Analysis of Medium Losses in Coal Washing Plants", *Int. J. Miner. Process.*, 80: 177-188.
- [35] Atesok, G., Perek, K.T., Dincer, H. ve Celik, M.S., (1999). "Reduction of Ash and Sulfur Contents of Low-Rank Turkish Semicoked Lignite by High Intensity Dry Magnetic Separation", *Coal Preparation*, 20: 179-190.
- [36] Liu, Y.A., ve Lin, C.J., (1976). "Assessment Of Sulfur and Ash Removal From Coals By Magnetic Separation", *IEEE Transactions On Magnetism*, 12 (5): 538-550.
- [37] Ayhan, F.D., Abakay, H., ve Saydut, A., (2005). "Desulfurization and Deashing of Hazro Coal via a Floatation Method", *Energy Fuel*, 19: 1003-1007.
- [38] Kural, O., (1991). *Kömür*, Kurtiş Matbaacılık, İstanbul.
- [39] Osborne, D.G., (1988). *Coal Preparation Technology*, First Edition, Graham & Trotman Press, London.
- [40] Aksay, E., Arslan, V. ve Polat, H., (2010). "Toz Kömürlerin Zenginleştirilmesinde Yağ Aglomerasyonu Yöntemi ve Yenilikler", *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 23 (2): 97-108.
- [41] Duzyol, S., (2015). "Investigation Of Oil Agglomeration Behaviour Of Tuncbilek Clean Coal and Separation Of Artificial Mixture Of Coal-Clay By Oil Agglomeration", *Powder Technology*, 274: 1-4.
- [42] Sahinoglu, E. ve Uslu, T., (2014). "Effect Of Particle Size On Cleaning Of High-Sulphur Fine Coal By Oil Agglomeration", *Fuel Processing Technology*, 128: 211-219.
- [43] Pandey, B.D., Meshram, P., Purohit, B.K., Sinha, M.K. ve Sahu, S.K., (2015). "Demineralization Of Low Grade Coal- A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41: 745-761.
- [44] Deniz, V. ve Kurt, M., (2001). "Kale (Denizli) Linyitleri ile İthal Kömür Tozlarının Briketlenme Olasılığının Araştırılması", *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, 19-22 Haziran 2001, Ankara.
- [45] Çinçinoğlu, Ö., Anıl, M. ve Kılıç, Ö., (2004). "İthal ve Yerli Kömür Karışımı ile Farklı Bağlayıcı Maddeler Kullanarak Üretilen Pres Kömürler", *Türkiye 14. Kömür Kongresi ve Sergisi*, 02-04 Haziran 2004, Zonguldak.
- [46] Bayar, G., (2012). *Evsel Isıtmada Kullanılan Neme Dayanıklı Yakıt Briketlerinin Hazırlanması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [47] Laskowski, J.S., (2001). *Coal Flotation and Fine Coal Utilization*, First Edition, Netherlands.
- [48] Hiçyılmaz, C., Altun, N.E. ve Balcı, A.S., (2004). "Briquetting and Decreasing of SO₂ Emission of Dadağı Coal Sample", *The Journal of Ore Dressing*, 7 (13): 8-16.

- [49] Blaschke, W.S., (1994). New Trends in Coal Preparation Technologies and Equipment, First Edition, Gordon and Breach Publishers, Poland.
- [50] Zhi, G., Feng, Y., Chen, Y., Tian, C., Bi, X., Li, J. ve Zhang, G., (2015). "Increase in Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Emissions due to Briquetting: A challenge to the Coal Briquetting Policy", *Environmental Pollution*, 204: 58-63.
- [51] Nikolaeva, L.A. ve Burenina, O.N., (2012). "The Lena Basin Brown Coal Briquetting", *Journal of Mining Science*, 48 (3): 579-584.
- [52] Zhang, Y., Liu, J., Wang, Y. ve Chen, L., (2015). "Studies on Low-Temperature Pyrolysis Characteristics and Kinetics of the Binder Cold-Briquetted Lignite", *Journal of Energy Institute*, 1-12, (baskıda).
- [53] Papila, M., (1973). "Seyitömer Kömüründen Sıcak Briketleme İle Dumansız Yakıt İstihali", *Madencilik*, 12 (4): 1-13.
- [54] Mills, J.E., (1908). Binders for Coal Briquets, First Edition, Department of the Interior, Washington.
- [55] Barriocanal, C., Montiano, M.G. ve Diaz-Faes, E., (2014). "Partial Briquetting vs Direct Addition of Biomass in Coking Blends", *Fuel*, 137: 313-320.
- [56] Ugwu, K. ve Agbo, K., (2013). "Evaluation of Binders in the Production of Briquettes From Empty Fruit Bunches of *Elais Guinensis*", *International Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2 (4): 176-179.
- [57] Bratton, R., Luttrell, G., Kasindorf, H., Christensen, P. ve McAllister, M., (2010). "Evaluation of a Novel Fine Coal Briquetting Process at Green Fields Coal Company", *International Coal Preparation Congress*, 25-29 April 2010, Kentucky, USA.
- [58] Tosun, Y.I., (2007). "Clean Fuel-Magnesia Bonded Coal Briquetting", *Fuel Processing Technology*, 88: 977-981.
- [59] Yaman, S., Şahan, M., Haykırı-Açma, H., Küçükbayrak, S. ve Şeşen, K., (2001). "Fuel Briquettes From Biomass-Lignite Blends", *Fuel Processing Technology*, 72: 1-8.
- [60] Altun, N.E., Hıcılmaz, C. ve Kök, M.V., (2001). "Effect of Different Binders on the Combustion Properties of Lignite Part I. Effect on Thermal Properties ", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 65: 787-795.
- [61] Tosun, Y.I., Gündüz, L. ve Şentürk, A., (1996). "Soğuk Bağlayıcı Kömür Briketleme- Kükürtdioksit Tutma", *Türkiye 10. Kömür Kongresi*, 20-24 Mayıs 1996, Zonguldak.
- [62] Kemal, M. ve Çiçek, T., (2005), Kömür Briketleme ve Ülkemiz Yakacak İhtiyacının Karşılmasındaki Önemi, http://www.researchgate.net/publication/271209192_Kmr_Biriketleme_ve_Ülkemiz_Yakacak_İhtiyacındaki_Önemi, 23 Ekim 2015.

- [63] Zhang, X., Xu, D., Xu, Z., ve Cheng, Q., (2001). "The Effect of Different Treatment Conditions on Biomass Binder Preparation for Lignite Briquette", *Fuel Processing Technology*, 73: 185-196.
- [64] Das, T., Saikia, B.K., Dutta, D.K., Dipok, B. ve Baruah, B.P., (2015). "Agglomeration of Low Rank Indian Coal Fines with An Organic Binder and the Thermal Behavior of the Agglomerate Produced: Part I", *Fuel*, 147: 269-278.
- [65] Yu, W., Sun, T., Liu, Z., Kou, J. ve Xu, C., (2014). "Study on the Strength of Cold-Bonded High-Phosphorus Oolitic Hematite-Coal Composite Briquettes", *International Journal of Minerals*, 21 (5): 423-430.
- [66] Blesa, M.J., Miranda, J.L., ve Moliner, R., (2003). "Micro-FTIR Study of the Blend of Humates with Calcium Hydroxide Used to Prepare Smokeless Fuel Briquettes", *Vibrational Spectroscopy*, 33: 31-35.
- [67] Han, Y., Tahmasebi, A., Yu, J., Li, X. ve Meesri, C., (2013). "An Experimental Study on Binderless Briquetting of Low-Rank Coals", *Chemical Engineering Technology*, 36 (5): 749-756.
- [68] Han, Y., Tahmasebi, A., Yu, J. ve Sun, B., (2014). "An Experimental Study on Binderless Briquetting of Chinese Lignite: Effects of Briquetting Conditions", *Fuel Processing Technology*, 124: 243-248.
- [69] Habib, U., Habib, M. ve Khan, A.U., (2014). "Factors Influencing the Performance of Coal Briquettes", *Walailak Journal*, 11 (1): 1-5.
- [70] Maninder, Kathuria, R.S. ve Grover, S., (2012). "Using Agricultural Residues as a Biomass Briquetting: An Alternative Source of Energy", *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 1 (5): 11-15.
- [71] Ancans, D., Kakitis, A. ve Nulle, I., (2012). "Influence of the Particle Parameters on the Properties of Biomass Briquettes", *Renewable Energy and Energy Efficiency*, 173-178.
- [72] Mitchual, S., Frimpong-Mensah, K. ve Darkwa, N., (2013). "Effect of Species, Particle Size and Compacting Pressure on Relaxed Density and Compressive Strength of Fuel Briquettes", *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 1-6.
- [73] Dehont, F., (2006), *Coal Briquetting Technology*, http://www.almoit.com/allegati/applicazioni_particolari/15/COAL%20BRIQUETTING%20TECHNOLOGY.pdf, 26 Ekim 2015.
- [74] Wang, Y. ve Bai, X., (2014). "Optical Microscopy Analysis of Briquette Binders", *International Journal of Coal Science Technology*, 1 (4): 421-427.
- [75] Mangena, S.J. ve Cann, V.M.d., (2007). "Binderless Briquetting of Some Selected South African Prime Coking, Blend Coking and Weathered Bituminous and the Effect of Coal Properties on Binderless Briquetting", *International Journal of Coal Geology*, 71: 303-312.

- [76] Rahman, A.N.E., Masood, M.A., Prasad, C.S.N. ve Venkatesham, M., (1989). "Influence of Size and Shape on the Strength of Briquettes", Fuel Processing Technology, 23: 185-195.
- [77] Ikelle, I.I. ve Joseph, M.N., (1989). "The Study of Briquettes Produced with Bitumen, CaSO₄ and Starch As Binders", American Journal of Engineering Research, 3 (6): 221-226.
- [78] Deniz, V. ve Özsoy, T., (2002). "Saracaova (Nazili-Aydın) Linyit Kömür Tozlarının Briketlenmesi", 13. Türkiye Kömür Kongresi, 29-31 Mayıs 2002, Zonguldak.
- [79] Saraç, H., Severoğlu, A., Güllüce, H. ve Karsli, S. (2011). "Bitki Kökenli Katı Biyoyakıt Üretimi ve Optimum Isıl Özelliklerinin Araştırılması". 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 7-10 Eylül 2011, Zonguldak, (pp. 166).
- [80] Yıldırım, M. ve Özbayoğlu, G., (1998). "Bağlayıcı Olarak Amonyum Nitrohumat İçeren Linyit Briketlerine Isıl İşlemin Etkisi", Türkiye 11. Kömür Kongresi, 10-12 Haziran 1998, Bartın.
- [81] TS 12055, (1996). Kömür Briketi- Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada Kullanılan, TSE, I. Baskı, Ankara.
- [82] Gürbüz-Beker, Ü. ve Küçükbayrak, S., (1996). "Briquetting of İstanbul-Kemberburgaz Lignite of Turkey", Fuel Processing Technology, 47: 111-118.
- [83] Memon, A.R., Habib, M., Khan, A.U. ve Habib, U. (2013). "Production of Indigenous and Enriched Khyber Pakhtunkhwa Coal Briquettes: Combustion and Disintegration Strength Analysis", Pak. J. Anal. Environ. Chem., 14 (1): 68-74.
- [84] Massaro, M.M., Son, S.F. ve Groven, L.J. (2014). "Mechanical, Pyrolysis and Combustion Characterization of Briquetted Coal Fines with Municipal Solid Waste Plastic (MSW) Binders", Fuel, 115: 62-69.
- [85] Altun, N.E., Hiçyılmaz, C. ve Bağcı, A.S. (2006). "Computation of Instantaneous Fuel Consumption for the Determination of Combustion Efficiency with Special Reference to Coal Briquette Size", Energy Sources, 28: 399-411.
- [86] Kural, O.O., Savaşçı, T. ve Eskikaya, Ş. (1989). "APP A New Binder for Briquetting Lignites", Fuel, 68 (3): 404-407.
- [87] Zubkova, V., Strojwas, A., Strojnowska, M. ve Kowalczyk, J. (2014). "The Influence of Composition of Coal Briquettes on Changes in Volume of the Heated Coal Charge", Fuel Processing Technology, 128: 265-275.
- [88] Blesa, M.J., Miranda, J.L., Izquierdo, M.T. ve Moliner, R. (2003). "Curing Temperature Effect on Mechanical Strength of Smokeless Fuel Briquettes Prepared with Molasses", Fuel, 82: 943-947.
- [89] Yıldırım, M., (2003). "Briquetting of Afsin/Elbistan and Sorgun/Yozgat Lignites without Adding a Binder", 18th International Mining Congress and Exhibition of Turkey (IMCET 2003), 10-13 Haziran 2003, Antalya, 385-390.

- [90] Sağlam, M., Yüksel, M., Tutaş, M. ve Karaduman, M., (1984). "Soma Linyit Kömürü Tozlarından Hava ve Suyu Dayanıklı Briket Üretimi", Türkiye 4. Kömür Kongresi, 07-11 Mayıs 1984, Zonguldak, 237-249.
- [91] Yıldırım, M. ve Özbayoğlu, G., (2002). "Environmentally Sound Coal-Derived Binder for Coal Briquetting", Coal Preparation, 22: 269-276.
- [92] Ivanov, I.P., Sudakova, I.G. ve Kuznetsov, B.N., (2003). "Manufacture of Briquetted and Granulated Fuels from Lignite with Biobinders and Heated Die", Chemistry for Sustainable Development, 11: 847-852.
- [93] Gürbüz-Beker, Ü., Küçükbaşrak, S. ve Özer, A., (1998). "Briquetting of Afşin-Elbistan Lignite", Fuel Processing Technology, 55: 117-127.
- [94] Rubio, B., Izquierdo, M.T. ve Segura, E., (1999). "Effect of Binder Addition on the Mechanical and Physicochemical Properties of Low Rank Coal Char Briquettes", Carbon, 37: 1833-1841.
- [95] Toroğlu, İ., Yavuzdoğan, A. ve Geniş, B., (2000). "Azdavay Kömürlerinin Zenginleştirilme ve Briketlenme Olasılığının Araştırılması", Türkiye 12. Kömür Kongresi, 23-26 Mayıs 2000, Zonguldak- Karadeniz Ereğli, 267-276.
- [96] Borowski, G. ve Hycnar, J.J., (2013). "Utilization of Fine Coal Waste as a Fuel Briquettes", International Journal of Coal Preparation and Utilization, 33: 194-204.
- [97] Borowski, G., (2011). "Possibilities of Utilization of Energy Briquettes", Electrical Engineering Research Report 1, 27: 48-51.
- [98] Özbayoğlu, G., Atalay, Ü. ve Hiçyılmaz, C., (2003). "Briquetting of Washed Coal Fines of Merzifon-Yeni Çeltekk Coal Enterprise", 18th International Mining Congress and Exhibition of Turkey (IMCET 2003), 10-13 Haziran 2003, Antalya, 507-511.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Aylin BOZTEPE
Doğum Tarihi ve Yeri : 21.12.1983 / İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : aylinboztepe@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lisans	Kimya Mühendisliği	Anadolu Üniversitesi	2007
Lise	Fen Bilimleri	Osman Ülkümen Lisesi (Y.D.A.)	2001

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013-	Milten Holding	Laboratuvar Sorumlusu
2009-2011	Marmara Üniversitesi - TÜBİTAK MAM EE	TRİJEN TARAL Projesi Araştırmacı Bursiyer

YAYINLARI

Makale

1. Boztepe, A. ve Gulen, J., (2015). "Aktif Alümina", İnovatif Kimya Dergisi, 18: 7.

Bildiri

1. Boztepe, A., Sarac, H. ve Gulen, J., (2015). "Investigation of Briquetting of a Turkish Lignite By Using Additives", International Conference on Advances in Mechanical Engineering-ICAME, 13-15 Mayıs 2015, İstanbul.
2. Boztepe, A., Ozdogan, S., Ozveren, U., Bilakaya, H. ve Ciger, G.E. (2012). "Pirininin Piroлизinin TG-MS Kullanılarak İncelenmesi ve FTIR ile Karakterizasyonu", 10. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi-UKMK-10, 3-6 Eylül 2012, İstanbul.
3. Boztepe, A., Ozdogan, S., Ozveren, U. ve Beypinar, M., (2010). "Investigation Of The Pyrolysis And Gasification Of A Turkish Coal Using Thermal Analysis Coupled With Mass Spectrometry", International Pittsburgh Coal Conference, 11-14 Ekim 2010, İstanbul.
4. Boztepe, A., Ozdogan, S., Ozveren, U. ve Beypinar, M., (2010). "Steam Gasification of Olive Oil Pomace Investigated with Thermal Analysis Coupled with Mass Spectrometry", 19th European Biomass Conference and Exhibition, 6-10 Haziran 2011, Berlin.
5. Boztepe, A., Ozdogan, S., Ozveren, U. ve Beypinar, M., (2011). "Investigation of Steam Gasification by Using Thermal Analysis Coupled with Mass Spectrometry", International Conference on Coal Science & Technology (ICSS&T), 9-13 Ekim 2011, İspanya.

Proje

1. Biyokütle ve Kömür Karışımlarından Sıvı Yakıt Üretimi
TÜBİTAK TARAL Projesi
2. Çeşitli Biyoatık Malzemelerin Gazlaştırılması ve Elde Edilen Ürünlerin Karakterizasyonu
Yüksek Lisans Bitirme Projesi

ÖDÜLLERİ

1. Pittsburgh Kömür Kongresi kapsamında hazırlanan "Investigation of the Pyrolysis and Gasification of a Turkish Coal Using Thermal Analysis Coupled with Mass Spectrometry" başlıklı makale ile en iyi yayın ödülü alındı.