



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



KÖMÜRÜN YAĞ AGLOMERASYONUNA
MİKRODALGA ISIL ÖN İŞLEMİNİN ETKİSİ

Kübra İNAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

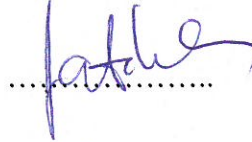
Kübra İNAN tarafından hazırlanan “Kömürün Yağ Aglomerasyonuna Mikrodalga Isıl Ön İşleminin Etkisi” adlı tez çalışması 28/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fatih CAN

İmza

.....


Danışman

Doç. Dr. Selma DÜZYOL

.....


Üye

Doç. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK

.....


Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA
Enstitü Müdürü

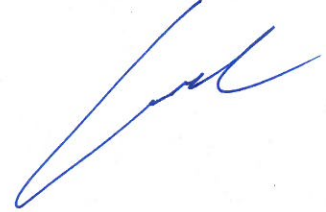
TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Kübra İNAN



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÖMÜRÜN YAĞ AGLOMERASYONUNA MİKRODALGA ISIL ÖN İŞLEMİNİN ETKİSİ

Kübra İNAN

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Selma DÜZYOL

2019, 53 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Selma DÜZYOL
Doç. Dr. Tefik AĞAÇAYAK
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fatih CAN**

Bu tez çalışması iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci kısımda, Tunçbilek Ömerler Yeraltı Ocağından temin edilen ince boyuttaki (-150 µm) linyit kömürünün zenginleştirilmesi için yağ aglomerasyonu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde gazyağı, madeni yağ, mazot ve bitkisel atık yağ olmak üzere 4 farklı bağlayıcı sıvı kullanılmış ve süspansiyon pH'ı, karıştırma hızı, yağ konsantrasyonu, aglomerasyon süresi gibi parametreler detaylı olarak incelenmiştir. Aglomerasyon işleminin başarısı deney sonrasında elde edilen aglomeratların kül içerikleri ve yanabilir kısım verimi (%YKV) ile değerlendirilmiştir. En iyi sonuçlar sırasıyla bitkisel atık yağ, madeni yağ, mazot ve gazyağı ile elde edilmiştir. Bitkisel atık yağ kullanılan deneylerde %7.9 kül giderimine ulaşılmış ve %5.9 kül içerikli aglomeratlar %90.6 YKV ile kazanılmıştır. Madeni yağ, mazot ve gazyağı için kül giderimi sırasıyla 58.5, 50 ve 41.5 (%) olurken sırasıyla %12.2, %14.7 ve %17.2 kül içerikli aglomeratlar %81.4, %69 ve %60.5 YKV ile kazanılmıştır.

İkinci kısımda ise mikrodalga ısıl ön işleminin kömürün yağ aglomerasyonuna etkisi araştırılmıştır. Bunun için farklı güç ve zamanlarda mikrodalga ısıl ön işlemi uygulanmış kömür numunesi üzerinde yağ aglomerasyonu deneyleri yapılmıştır. Yağ aglomerasyonu deneyleri birinci kısımda optimum sonuçların elde edildiği şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde mikrodalga uygulaması sonrasında, kömürde bir miktar kütle kaybı gerçekleşmiş ve kömürün kül içeriği artmıştır. Yağlar, mikrodalga uygulaması öncesi ve sonrası kömür örnekleri ile birlikte aglomeratların FTIR analizleri gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. 600 watt gücünde 4 dakika mikrodalga uygulama sonrasında kömürün gazyağı ile aglomerasyonundan %16.5 kül içerikli (besleme külü %35.7) aglomeratlar %59.2 YKV ile elde edilmiştir. Bitkisel atık yağdan ise %13.2 kül içerikli aglomeratlar %85 YKV ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kömür; linyit; mikrodalga; yağ; yağ aglomerasyonu.

ABSTRACT

MSc THESIS

THE EFFECT OF MICROWAVE PRETREATMENT ON THE OIL AGGLOMERATION OF COAL

Kübra İNAN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mining Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Selma DÜZYOL

2019, 53 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Selma DÜZYOL
Assoc. Prof. Dr. Tefvik AĞAÇAYAK
Assist. Prof. Dr. Muhammed Fatih CAN**

This thesis consists two parts. In the first part, oil agglomeration experiments were carried out to enrich the lignite coal obtained from Tunçbilek Ömerler underground mine. In the experiments, 4 different binding fluids such as kerosene, mineral oil, diesel oil and vegetable waste oil were used and parameters such as suspension pH, stirring speed, oil concentration and agglomeration time were investigated in detail. The success of the agglomeration process was evaluated by the ash content and combustible recovery (CR%) of the agglomerates which were obtained from the experiments. The best results were obtained with vegetable waste oil, mineral oil, diesel oil and kerosene respectively. In the experiments using vegetable waste oil, 7.9% the ash removal was achieved and the agglomerates with 5.9% the ash content were obtained with 90.6% the CR. Ash removal for mineral oil, diesel oil and kerosene was 58.5, 50 and 41.5 (%), respectively, while agglomerates with the ash content of 12.2%, 14.7% and 17.2% were obtained with 81.4%, 69% and 60.5% of CR, respectively.

In the second part, the effect of microwave pretreatment on the oil agglomeration of coal was investigated. For this purpose, the oil agglomeration experiments were performed on the coal sample which was subjected to microwave pretreatment at different powers and times. The oil agglomeration experiments were carried out under conditions where optimum results were obtained in the first part. When the results were examined, after microwave pretreatment some mass loss occurred in the coal and the ash content of the coal increased. FTIR analyses of oils, before and after microwave pretreatments coal samples and agglomerates were performed and investigated comparatively. After 4 minutes of microwave application at 600 watt, the agglomerates containing 16.5% ash (feed of ash 35.7%) were obtained from agglomeration of coal with 59.2% of CR in the presence of kerosene. Agglomerates containing 13.2% ash content were obtained from vegetable waste oil with 85% of CR.

Keywords: Coal, lignite, microwave, oil, oil agglomeration.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı'nda, Doç. Dr. Selma DÜZYOL'un danışmanlığında, Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmada mikrodalga ısı ön işlemin yağ aglomerasyonuna etkisi incelenmiştir.

Yüksek Lisans öğrenimim sürecinde derslerimde ve çalışmalarımda beni hep destekleyen, yönlendiren ve motivasyonumu sağlayan, her konuda yardımcı olan, gerek teknik anlamda gerek hayata karşı beni hazırlamaya çalışan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Selma DÜZYOL'a emeklerinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunuyorum.

Çalışmalarımın her safhasında yanımda olan kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK'a ve öğrencilerini hep destekleyen tüm bölüm hocalarıma, laboratuvar çalışmalarında ne zaman ihtiyacım olsa bana yardımcı olan Lab. Tek. İbrahim KÜÇÜK'e teşekkür ederim.

Üniversite ve yüksek lisans öğrenimim sürecimde hep yanımda olan sevgili meslek arkadaşım Kerim Enes YAŞAR'a, öğrenimimi hep destekleyen patronum Jeoloji Mühendisi Durhan CİNCİOĞLU'na ve bu süreçte her zaman beni motive eden Sayın Erol ERTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bu yoğun tempoda bana manevi desteklerini sunan canım abim Halit İNAN'a, sevgili annem Serpil AKBULUT'a ve sevgili babam Aydın İNAN'a ilgilerinden ve sabırlarından dolayı teşekkür ederim.

Kübra İNAN
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Kömür Hakkında Genel Bilgiler	4
2.2. Kömür Türleri	5
2.2.1. Turba	6
2.2.2. Linyit	6
2.2.3. Alt bitümlü kömür	6
2.2.4. Taş kömürü (Bitümlü kömür)	7
2.2.5. Antrasit	7
2.3. Kömürün Oluşumu	8
2.4. Kömürün Petrografik Özellikleri	9
2.4.1. Makroskobik bileşenler	9
2.4.2. Mikroskobik bileşenler	9
2.5. Kömürün Mineral Bileşenleri	11
2.5.1. Kömürdeki kükürt çeşitleri	11
2.6. Kömürün Sınıflandırılması	12
2.7. Dünyada Kömür Sektörü	12
2.8. Türkiye’de Kömür Sektörü	14
2.8.1. Tunçbilek-Kütahya kömür işletmesi	16
2.9. Kömür Zenginleştirme Yöntemleri	17
2.9.1. Yağ aglomerasyonu yöntemi	18
2.10. Mikrodalga Enerjisi ve Kömür Hazırlama/Zenginleştirmedeki Yeri	20
2.10.1. Kömürün mikrodalga enerji ile zenginleştirilmesi	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Numunenin Hazırlanması	25
3.2. Deneylerde Kullanılan Kimyasallar	25

3.3. Kömürün Kısa Analizi	25
3.4. Yağ Aglomerasyonu Deneyleri	26
3.5. Zeta Potansiyeli Ölçümleri	27
3.6. Mikrodalga Uygulaması	27
3.7. Termogrevimetrik Analiz	27
3.8. FTIR Analizleri	27
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	28
4.1. Kömürün Yağ Aglomerasyonu	28
4.1.1. Kömürün yağ aglomerasyonuna pH'ın etkisi	28
4.1.2. Kömürün yağ aglomerasyonuna yağ konsantrasyonunun etkisi	30
4.1.3. Kömürün yağ aglomerasyonuna karıştırma hızının etkisi	31
4.1.4. Kömürün yağ aglomerasyonuna aglomerasyon süresinin etkisi	32
4.2. Mikrodalga Isıl Ön İşlemi Uygulanmış Kömürün Yağ Aglomerasyonu	34
5. SONUÇLAR	44
6. KAYNAKLAR	46
7. ÖZGEÇMİŞ	52

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kömürleşme seviyeleri	5
Şekil 2.2. Ülkelere göre 2017 yılı kömür üretimleri	13
Şekil 2.3. Ülkelere göre 2015 yılı kömür tüketimleri	14
Şekil 2.4. Önemli kömür sahaları ve potansiyel kullanım alanları	15
Şekil 2.5. GLİ Tunçbilek 2D uzay ve hava fotoğrafları	16
Şekil 2.6. GLİ Tunçbilek 3D uzay ve hava fotoğrafları	17
Şekil 2.7. Mineral tanesi ile yağ damlacığının etkileşimi	19
Şekil 3.1. Kömür numunesinin tane boyut dağılımı	26
Şekil 4.1. Kömürün aglomerasyonuna pH'ın etkisi (yağ konsantrasyonu %15.8; karıştırma hızı 500 dev/dak; aglomerasyon süresi 3 dakika)	29
Şekil 4.2. Farklı pH'larda yağ varlığında süspansiyonun zeta potansiyeli	29
Şekil 4.3. Kömürün farklı yağlarla aglomerasyonuna yağ konsantrasyonunun etkisi (aglomerasyon süresi 3 dakika; karıştırma hızı 500 dev/dak; pH: gazyağı ve mazot için 5, madeni yağ ve bitkisel atık yağ için 7).	31
Şekil 4.4. Kömürün farklı yağlarla aglomerasyonuna karıştırma hızının etkisi (aglomerasyon süresi 3 dakika; pH: gazyağı ve mazot için 5 ve madeni yağ ve bitkisel atık yağ için 7; gazyağı konsantrasyonu % 15.8 ve diğeri için % 39.5).	32
Şekil 4.5. Kömürün farklı yağlarla aglomerasyonuna aglomerasyon süresinin etkisi (pH: gazyağı ve mazot için 5, madeni yağ ve bitkisel atık yağ için 7; yağ konsantrasyonu gazyağı için %15.8 ve diğer yağlar için %39.5; karıştırma hızı gazyağı ve mazot için 1250 dev/dak; madeni yağ için 500 dev/dak ve bitkisel atık yağ için 750 dev/dak).	33
Şekil 4.6. Kömürün TG ve DTG eğrileri	34
Şekil 4.7. Farklı güç seviyeleri ve farklı uygulama sürelerinde mikrodalga ön uygulamasının gazyağı ile yağ aglomerasyonuna etkisi	36
Şekil 4.8. Farklı güç seviyeleri ve farklı uygulama sürelerinde mikrodalga ön uygulamasının madeni yağ ile yağ aglomerasyonuna etkisi	37
Şekil 4.9. Farklı güç seviyeleri ve farklı uygulama sürelerinde mikrodalga ön uygulamasının mazot ile yağ aglomerasyonuna etkisi	38

Şekil 4.10. Farklı güç seviyeleri ve farklı uygulama sürelerinde mikrodalga ön uygulamasının bitkisel atık yağ ile yağ aglomerasyonuna etkisi 39



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Kömürleşmenin ana fazları ve prosesleri	8
Çizelge 2.2. Kömür masarelleri	10
Çizelge 2.3. Masarel gruplarının atomik H/C ve O/C oranları	10
Çizelge 2.4. ASTM kömür sınıflaması	12
Çizelge 2.5. Türkiye'nin önemli linyit havzaları ve sahaları	15
Çizelge 2.6. GLİ Müessesinin yıllara göre linyit üretimi	16
Çizelge 2.7. Kömür zenginleştirme yöntemleri	18
Çizelge 4.1. Aglomerasyon sonrası aglomeratların kalori değerleri	34



1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte ülkelerin enerjiye olan ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. Yeryüzünde var olan ve bilinen enerji kaynaklarından olan katı yakıtlar sınırlı olduğu için bu kaynakların tüketiminde bilinçli olmak gerekmektedir. Ülkemizde son yıllarda yerli enerji kaynaklarının artırılması ve mevcut kaynakların daha verimli kullanılması amacıyla yeni politikalar geliştirilmiştir. Bu amaçla özellikle alternatif kömür sahalarının bulunması çalışmalarına öncelik verilmiştir. Ülkemizde en önemli enerji kaynaklarından olan elektrik üretiminin % 48'inin doğalgaz ile karşılandığı (EİGM, 2014) dikkate alındığında daha ucuz olan kömürün doğalgaza alternatif hale getirilmesiyle dışa bağımlılığın azaltılması mümkün olabilecektir. Bunun için mevcut kömürlerin kalorifik değerlerinin artırılması ve kül miktarlarının azaltılmasında yeni teknolojiler geliştirmek ve kullanmak zorunlu bir hal almış gözükmektedir.

Ülkemizdeki linyit kömürleri, nem ve kül içerikleri ile kalorifik değerleri dikkate alındığında düşükten yükseğe çeşitlilik göstermektedir. Ancak, düşük ısıl değerli linyitlerin (2000 kcal/kg'ın altında) toplam rezerv içindeki payı (% 70) oldukça fazladır (MİGEM, 2012). Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü ülkemiz linyitlerinin 2017 yılındaki toplam rezervini 17.5 milyar ton olarak açıklamıştır (MTA, 2018a). Linyit rezervlerimizin oldukça zengin olmasına karşın kömür üretiminde yeni teknolojik kazıcıların kullanılması ile üretilen toz kömürü miktarı da artmaktadır. Toz kömürün bu şekilde zorunlu üretimi ekonomik ve çevresel olarak birtakım olumsuzluklar meydana getirmektedir.

Linyit kömürlerinin ısıl değeri düşük, barındırdığı kül ve nem miktarı fazla olduğu için termik santrallerde yakıt olarak kullanılmaktadır (ETKB, 2019a). Kömürün kül içeriğini azaltmak dolayısıyla ısıl değerini arttırmak için birtakım zenginleştirme yöntemleri uzun yıllardır bilinmekte ve başarıyla uygulanmaktadır. Bunun için ağır ortam, jig, sarsıntılı masa, siklon gibi yoğunluk farkına göre zenginleştirme yapan aygıtlar kullanılmaktadır. Ağır ortam zenginleştirme ülkemizdeki kömür hazırlama tesislerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu zenginleştirme yönteminde yoğunluğu önceden ayarlanmış olan bir ortam sıvısı içerisinde düşük özgül ağırlıktaki kömürün yüzmesi ve yüksek özgül ağırlıktaki yan taşın batması sağlanarak kömür ve yan taşının özgül ağırlıkları farklılığından yararlanılarak zenginleştirme işlemi yapılmaktadır. Fakat bu yöntem ile ince

boyuttaki kömür için verimli bir ayırım yapılamamakta ve ince boyuttaki kömürlerin büyük bir kısmı atığa karışmaktadır.

İnce boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesinde flotasyon, yağ aglomerasyonu ve seçimli flokülasyon yöntemleri ile başarılı bir ayırım sağlanabilmekte ve bu ayırım organik ve inorganik bileşenlerinin yüzey özellikleri farklılığından yararlanılarak yapılmaktadır (Yılmaz, 2010). Flotasyon yöntemi minerallerin yüzey özelliklerinin kullanılan reaktifler maddeler ile değiştirilerek bazılarının su ile ıslanarak batması, bazılarının da hidrofobik özellik kazanarak hava kabarcığına tutunarak yüzmesi prensibine dayanan bir ayırma yöntemidir (Atak, 1982). Kömür doğal halde hidrofob olmakla birlikte karbon oranı arttıkça hidrofobik özelliği de artmaktadır (Kılınç Aksay ve ark., 2010). Flotasyon yönteminin verimi oksitlenmiş kömürlerde, şlam olarak kil mineralinin bol olduğu ortamlarda ve tane boyutunun küçülmesiyle azalır (Wojcik ve Taweel, 1984). Bu nedenle flotasyon yöntemine alternatif olarak yağ aglomerasyonu yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemle flotasyonla ayrılamayan ince tanelerin kazanımı mümkündür (Kılınç Aksay ve ark., 2010). Yağ aglomerasyonu yöntemi ise hidrofobik minerallerin yağ ile yüzeylerinin kaplanarak, uygun şartlarda tanelerin bir araya gelerek boyutlarının büyümesi esasına dayanır. Aglomera olan kısım elek yardımıyla diğer kısımdan rahatlıkla ayrılır (Meshram ve ark., 2015). Yağ aglomerasyonu yönteminde de flotasyona benzer olarak cevherin yüzey özellikleri farklılığından yararlanır. Yöntemin başarısı minerallerin yüzey özellikleri (özellikle hidrofobitesi), tane boyutu, kullanılan yağın tipi ve miktarı, karıştırma hızı, aglomerasyon süresi gibi bazı parametrelere bağlıdır.

Kömür hazırlama işlemlerinde mikrodalga kullanımında kömürün elektriksel geçirgenliği önemli olup (Peng ve ark., 2017), kömürün mikro çatlak oluşumuna mikrodalga'nın etkisi modellenmiştir (Huang ve ark., 2018). Yine kömürün içerisinde bulunan piritin, manyetik ayırma öncesinde mikrodalga enerjisi ile güçlendirilmesi (Zhang ve ark., 2018) ile daha etkili bir ayırma sağlanmıştır. Düşük sıcaklık ve basınçta kömürün hidrokarbonlara dönüştürülmesinde de mikrodalga'nın olumlu etkisi (Singh ve ark., 2015) olduğu ifade edilmiştir.

Kömürün hidrofobitesi, kömürleşme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Kömür aynı zamanda bünye ve yüzey nemi içermektedir. Mikrodalga işlemi seçinimli bir ısıtma sergilediği için kömürün içindeki organik bileşenler mikrodalga enerjisini absorblama bakımından zayıftır. Fakat kömürün bünyesindeki nem iyi bir mikrodalga enerjisi absorplayicisidir. Mikrodalga enerjisi kullanılarak kömürün

öğütülebilmesi, kükürt giderimi ve susuzlandırma gibi kömür hazırlama ve zenginleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir (Toraman ve Depçi, 2007).

Mikrodalga ön muamelesinin kömür hazırlama işlemlerinde (kükürt giderimi, susuzlandırma ve öğütme) olumlu etkilerinin olduğu bazı çalışmalarda belirtilmiştir. Ancak mikrodalga ile muamele edilen kömürün yağ aglomerasyonuna nasıl bir etki yaptığı henüz bilinmemektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında, mikrodalga ön ısıtma işleminin kömürün yağ aglomerasyonu davranışına etkisi incelenmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kömür Hakkında Genel Bilgiler

Kömür yapısal olarak gevrek, kırılğan, çoğunlukla siyah ve kahverengi renkte, yanabilen, parlak ya da mat, içerisinde organik maddeler dışında değişik özellikte inorganik maddeler de içeren tortul kayaçlar olarak tanımlanmaktadır. Heterojen bir yapıya sahip olup yoğunlukları, içerdikleri inorganik madde ve nem oranına göre 1.1 ile 2.2 gr/cm³ arasında değişmektedir (ETKB, 2019a). Ağırlık olarak %50, hacim olarak ise %70'ten fazla kömürleşmiş bitki kalıntılarında oluşmaktadır (Schopf, 1956).

Kömür, kullanımı, depolanması ve nakliyesi açısından emniyetli bir fosil yakıttır. Günümüzde kömür yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunmasından ve ucuz bir yakıt olmasından dolayı dünya elektrik üretiminin yaklaşık %40'ı kömürden karşılanmaktadır (ETKB, 2019a).

Kömürler içerdikleri organik maddenin tipine göre hümanik ve sapropelik kömürler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Yeryüzünde bulunan kömürlerin çoğunu hümanik kömürler oluşturur. Bataklıkta yığılan ölü haldeki çeşitli boylardaki damarlı bitkiler birikerek bakterilerin etkisiyle çürür ve zamanla turbaya dönüşür. Gömülme sonucunda artan yer sıcaklığına maruz kalan turba, kömürleşir ve gömülme miktarına bağlı olarak sırasıyla linyit, alt bitümlü kömür, taşkömürü, yarı antrasit ve antrasit gibi isimler alır. Kömürleşme olayı, bataklığın bulunduğu sedimanter havzanın jeolojik tarihçesine göre, yukarıdaki aşamalardan herhangi birinde son bulabilmektedir. Hümanik kömürlerin ilksel organik maddesi ağırlıklı olarak karada yaşayan, büyük boylardaki bitkilerden oluşur. Bu kömürler litotiplerden dolayı genellikle parlak ve bantlı kömürlerdir ve çoğunlukla III. tip kerojen organik maddeleri kapsarlar ve hidrojen oranları düşüktür (Van Krevelen, 1961; Stach ve ark., 1982; Hunt, 1996; Killips, 2005). Kömürleşme derecesine göre düşük (linyit ve alt bitümlü kömür) ve yüksek (taşkömürü, yarı antrasit ve antrasit) ranklı olmak üzere iki ana gruba ayrılır (Tissot ve Welte, 1978). Her iki grubun da renk, parlaklık, sertlik, kalorifik değerleri, su ve uçucu madde yüzdeleri, C, O, H oranları, vitrinit yansıtma dereceleri farklıdır (Ünal, 2013).

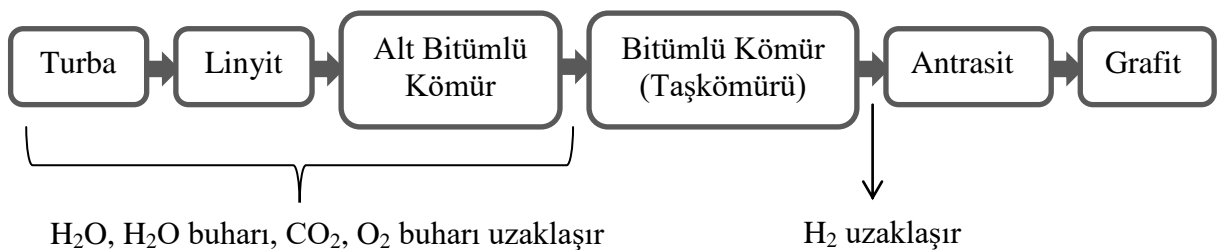
Sapropelik kömürlerin yeryüzündeki rezerv ve yayılımları hümanik kömürlere göre daha azken hidrojen oranı fazladır. Belli bir su derinliği olan havzaların (deniz, göl, lagün gibi), oksijensiz tabanında biriken ve sonrasında gömülen organik madde

bulunduran çamurun (sapropelin) yer sıcaklığının etkisiyle kömürleşmesi sonucu oluşur. Bu kömürler I. veya II. tip kerojen kapsar. Oluşan kömürler mat ve bantlı yapıda değildir. Bu tip kömürlerde turbalaşma aşaması olmazken içerisinde alg miktarı fazla olanlara Boghead kömürü, spor ve polen miktarı fazla olanlara da Cannel kömürü denir (Berkowitz, 1997). Bu gruptaki kömürleri bazı yazarlar bitümlü şist grubuna dâhil etmektedir. Sapropelik kömürler, çökeltme olayının denize olan konumuna bağlı olarak paralitik (denizel çökeller) ve limnik (göl kenarlarındaki bataklıklarda) kömürler olarak adlandırılmaktadırlar (Ünalın, 2013).

Kömürün bünyesinde farklı oranlarda organik ve inorganik bileşenler bulunur. Oluşumlar gereği doğada, yapı, doku, bileşenler ve köken açısından birbirleriyle tam anlamda özdeş iki kömür oluşumuna rastlamak hemen hemen olanaksızdır (Kemal, 1991). Odunsal bir yapıya sahip olan turbadan, grafitik yapı gösteren antrasite kadar çok değişiklikler gösterir. Kömür yataklarında bulunan gang mineralleri de çok değişkendir. Bunlardan en önemlileri şist, kil, jips, markasit ve pirittir. Bu sebeple kömür yatakları çeşitli işletmelerde, hatta aynı yataktan alınan kömürler arasında bile büyük farklar gösterir (Atak, 1990).

2.2. Kömür Türleri

Bitkilerin alterasyonu sonucu turba, linyit, alt bitümlü kömür, bitümlü kömür (taşkömürü), antrasit ve grafit birbirlerine dönüşerek oluşmaktadır. Fiziksel ve kimyasal değişimlere bağlı olarak kömürleşme seviyeleri Şekil.2.1.'de görülmektedir.



Şekil. 2.1. Kömürleşme seviyeleri

Şekil.2.1.'de ok yönünde ilerledikçe, metamorfizma şiddeti (basınç ve sıcaklık etkisi), karbon yüzdesi ve kalori miktarı artmakta, buna bağlı olarak su ve uçucu maddeler azalmaktadır (MTA, 2018a).

2.2.1. Turba

Bu kömür türüne daha çok bataklık alanlarında rastlanmaktadır ve içerdiği su miktarı yüksektir. Turba, henüz karbonlaşma safhasını tamamlamamış, katılaşmamış genç kömürlere aittir. Karbon yüzdesi ise 60'ı geçmezken kalorisi 3000 veya daha altındadır (MTA, 2018b). Dünya kara alanının yaklaşık %3'ünü oluşturan turbalar gözenekliliği ve su oranı yüksek, açık koyu kahve, siyah renkli organik çökellerdir. Toprağın su tutma yeteneğini artırır. Bataklık alanda yetişen ağaç, funda, saz, ot vb. bitkilerden turba oluşabilir. Bu alandaki bitkilerin su tablasına olan konumuna göre turbalar üç gruba ayrılır. Bunlar;

- Limnik turba: Tamamen su içinde yaşayan bitkilerden kaynaklıdır.
- Telmatik turba: En alçak ve en yüksek su tablası seviyesi arasında kalan bitkilerden kaynaklanır.
- Karasal turba: Bataklıklardaki en yüksek su seviyesinin üstünde yetişen bitkilerden kaynaklanır (Ünalın, 2013).

2.2.2. Linyit

Türkiye'de en çok bulunan kömür türüdür. Yumuşak ve koklaşmayan bir kömür olup düşük ranklıdır. Havada uzun süre beklemesiyle suyunu yitirir ve kolayca ufalanabilir. Siyah, koyu kahve ve kahve renkli olabilir. Yaşları çoğunlukla tersiyerdir. Uçucu madde oranı fazla (genellikle %52-64), nem oranı ise %30-70 arasındadır (Ünalın, 2013).

Daha oluşumunu tamamlamamış kömürlere aittir. Karbon yüzdesi kütle için %70-80'i kadardır. 3000-6000 kalori arasında ısı verir (MTA, 2018b).

2.2.3. Alt bitümlü kömür

Kömürleşme derecesine göre linyit ve taşkömürü arasında, düşük ranklı kömürlerdir.

2.2.4. Taş kömürü (Bitümlü kömür)

Bantlı bir yapıya sahiptir. Bu bantlı yapı, parlak ve mat bantların birbiri ardına sıralanmasıyla oluşmuştur. Dikdörtgen prizmalar halinde dilimlenir. Sert bir yapıya sahiptir ve koyu gri- siyah renktedir ve dokunulduğunda ele renk verir. % 5-10 arasında nem ihtiva eder. Uçucu madde oranı % 14-42, karbon oranı % 80-90, vitrinit yansıtma derecesi 0.5-2 ve kalorifik değeri 5700 kcal/kg'den büyüktür. % 31-42 değerleri arasında yüksek uçuculu, % 22-31 arasında orta uçuculu ve % 14-24 arasında düşük uçuculu olmak üzere üç alt gruba ayrılır.

Taşkömürlerinin bazıları koklaşmaya müsaittir. Bunların dışında kalanlar termik santrallerde kullanılır (Ünalın, 2013).

Ülkemizde en önemli taşkömürü rezervleri Zonguldak Havzasında bulunmaktadır. Havzada bugüne kadar yapılan rezerv arama çalışmalarında 1200 m derinliğe kadar tespit edilmiş toplam jeolojik rezerv 1.518 milyar ton olup, bunun yaklaşık % 48'i görünür rezerv olarak kabul edilmektedir (TTK, 2019). Taşkömürü kömürleşme derecesi bakımından antrasit ile linyit arasında yer alan bir kömür türüdür. Maden kömürü olarak da bilinir (MTA, 2018b).

2.2.5. Antrasit

Kömürleşmenin en son aşamasıdır. Aşırı kömürleşmeden dolayı litotiplerden kaynaklanan bantlı yapı ya tamamen yok olur ya da çok az belirgin olur. Metalik bir parlaklığa sahip olup çok sert, siyah renkli, kırılın ve koklaşmaya uygun olmayan bir kömür çeşididir. Midye kabuğu şeklinde kırılırken dokunulduğunda ele renk vermez.

Sabit karbon oranı % 92-98'dir (kuru ve mineral maddesiz örneklerde). Kalorifik değeri 5700-8600 kcal/kg'dir. Vitrinit yansıtma derecesi % 2.5-4 aralığındadır. Nem oranı % 2 ve uçucu madde oranı % 2-8'dir. Ülkemizde antrasit yatağı yoktur (Ünalın, 2013). Antrasit en değerli ve en sert kömür türüdür. Karbon oranı yüksek olduğu için yandığında diğerlerinden daha fazla ısı verir (MTA, 2018b).

2.3. Kömürün Oluşumu

Kömürün ana elemanı karbon olduğundan oluşumu karbon çevrimiyle bire bir ilgilidir. Kömür-hava çevrimi bataklıklarda başlar. Kömürleşmenin başlıca kaynakları bitkiler, havadan veya yüzeysel sulardan alınan CO₂'dir (Kemal, 1991). Bünyesinde karbon haricinde oksijen, hidrojen, azot ve kükürt bulunur (Atak, 1982).

Çeşitli bataklık ortamlarında (göller, deltalar, lagünler ve akarsu taşıma ovaları) ölmüş bitki kalıntıları birikerek bozuşurlar ve bir takım kimyasal reaksiyonlar ile fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğrarlar. Bu sürecin oluşması bataklık suyu pH'ının 4-5 arasında, bitki kalıntılarının sıcak ve nemli bir ortamda bataklıkta derinlere dalması ile mümkündür. Sıcaklık ve basınç şartlarının bu organik maddeleri etkilemesi sonucu, bu ortamdan, sırasıyla önceleri (turbadan-taşkömürü aşamasına kadar) su ve su buharı, karbon dioksit (CO₂), oksijen (O₂) ve en ileri aşamalarda hidrojen (H₂) (antrasit aşamasında) uzaklaşır. Bu süreç binlerce yıl sürebilmektedir. Zamanla ilk oluşan ve turba olarak adlandırılan organik madde, önce linyit daha sonra alt bitümlü kömür, sonra taşkömürü ve antrasite dönüşür. Bu olgunlaşma süreci kömürleşme olarak adlandırılırken her bir seviye ise kömürleşme derecesi olarak adlandırılmaktadır (ETKB, 2019b). Kömürleşmenin ana fazları ve süreçleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Kömürleşmede biri biyokimyasal olayların daha yoğun olarak görüldüğü turbalaşma diğeri ise jeolojik ve kimyasal olayların etkisindeki jeokimyasal kömürleşme evreler olmak üzere iki evre mevcuttur. Turbalar, biyokimyasal evrede linyitler, bitümlü kömürler ve antrasitler ise jeokimyasal evrede oluşurlar (Yenidinç, 1998).

Çizelge 2.1. Kömürleşmenin ana fazları ve prosesleri (Ediger, 2014).

Ana Fazlar	Materyal	Proses	Esas Kimyasal Reaksiyon
Biokimyasal	Bozunmuş bitki ve turba	Turbalaşma	Bakteri ve mantarlarla mikrobiyolojik bozunması
Jeokimyasal	Linyit	Linyitleşme	Oksidasyon, dekarboksilasyon ve dehidrasyon
	Bitümlü kömür	Bitümleşme	Dekarboksilasyon ve hidrojen dezproporsiyonlaşma
	Yarı antrasit	Ön antrasitleşme	Küçük aromatik yapıların yoğunlaşması
	Antrasit	Antrasitleşme	Küçük aromatik yapıların büyük aromatik yapılara dönüşmesi ve dehidrojenasyon
	Grafit	Grafitleşme	Karbonlaşmanın tamamlanması

2.4. Kömürün Petrografik Özellikleri

Kömür organik ve inorganik bileşenlerle birlikte su ve gaz da bulundurur. Kömürün organik bileşenleri diğerlerinden daha fazla orandadır. Kömürün organik bileşenleri makroskobik ve mikroskobik bileşenler olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

2.4.1. Makroskobik bileşenler

Kömüre bantlı görünüm veren litotipler, hümik kömürlerin makroskobik bileşenlerini oluşturur (Suarez-Ruiz ve Crelling, 2008).

Litotipler kalınlığına göre 4 seviyeye ayrılır. Bunlar;

- Vitren: 3-10 mm kalınlığında, ince bantlar ya da mercekler şeklindedir.
- Klaren: 1 mm'den ince kalınlıkta, katmanlaşmaya paralel, parlak ve mat laminalardan oluşur.
- Düren: 3 mm'den fazla kalınlığında, kalın bantlar şeklindedir.
- Füzen: birkaç mm'yi aşmayan, ince mercekler halindedir. Kömür içinde çok az rastlanır.

Litotiplerin her birinin rengi, parlaklığı, dokusu ve maserel bileşimi farklıdır. En çok taşkömüründe rastlanır. Oksitlenme sonucu litotipler silinir (Ünalın, 2013).

2.4.2. Mikroskobik bileşenler

Mikroskop ile görülebilen ve çok küçük ve kömürleşmiş organik madde parçaları maserel olarak adlandırılır. Kömür masarellerin bir araya gelmesi sonucu oluşur. Masereller üç sınıfa ayrılır. Bunlar Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

- Vitrit Grubu: III.Tip kerojeni oluştururlar. Oksijen oranları %1-16, hidrojen oranları %1-6 ve karbon oranları %77-96'dır. Taşkömürü ve antrasitlerde sıkça rastlanır. Telovitrit, detrovitrit ve jelovitrit olmak üzere üç maserel alt grubu vardır (ICCP, 1994a; 1994b). Linyitlerde hüminit grubu olarak da karşımıza çıkan gruptur. Hüminitlerin de telohüminit, detrohüminit ve jelo hüminit olmak üzere üç maserel alt grubu vardır (ICCP, 2001).

- Liptinit Grubu: I. ve II. tip kerojeni oluştururlar. Hidrojen ve uçucu madde oranları yüksektir. Sıcaklığa karşı dayanıksızdır. Sporinit, kütinit, rezinit, aljinit, süberinit, liptodetrinit, flüorinit, bitüminit, eksüdatinit ve klorofillinit olmak üzere 10 masareli vardır. Bu maserellerin birçoğunun orijinal şekli bozulmuştur. Bu masereller yaş tayini için kullanılır (Ünalın, 2013).
- İneritinit Grubu: Orman yangınları sırasında bitkilerin gövde, dal, kök gibi odunsu kısımlarının ve mantarların kısmen yanarak sıcaklığın etkisiyle kömürleşmiş veya mevsimsel olarak kuruyan bataklıklarda, havanın oksijeniyle fazla oksitlenmiş bitki kalıntılarıdır. Işık yansıtma dereceleri yüksektir fakat flüoresans özelliği yoktur. Hidrojen oranı az, karbon oranı fazladır. Füsinit, semifüsinit, funjinit, sklerotinit, makrinit, mikrinit ve inertodetrinit olmak üzere 7 masareli bulunur (ICCP, 1994c).

Açıklanmış olan bu masarel gruplarının atomik H/C ve O/C oranları Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Mikrolitotip: Mikroskobik boyutlu litotiplerdir. Dâhil oldukları gruba göre 3 tip mikrolitotip vardır. Bunlar; monomasarel, bimasarel ve trimasareldir.

Çizelge. 2.2. Kömür masarelleri (Ediger, 2014).

Grup	Masarel	Köken
Vitrinit	Telinit Kollinit Vitrodetrinit	Bitkilerin Odunsu Dokuları
Liptinit	Kütinit Sporinit Alginit Resinit Suberinit	Yaprak Spor-Polen Alg Reçine Kabuk
İneritinit	Semifüsinit Füsinit Mikrinit Sclerotinit	Diğer Masareller Mantar

Çizelge. 2.3. Masarel gruplarının atomik H/C ve O/C oranları (ICCP, 1994c)

Masarel grubu	H/C	O/C
Vitrinit	0.4-0.9	0.10-0.33
Liptinit (Rezinit)	1.33-1.55	0.03-0.11
İneritinit (Füzinit)	0.5	~0.13

2.5. Kömürün Mineral Bileşenleri

Kömürün bileşimindeki mineral madde oranı, organik maddeden az olmakla birlikte bu miktar kömürün kalitesini oluşturur. Mineral madde oranı azaldıkça kömürün kalitesi de artar. Farklı kömürler üzerinde yapılan çalışmalarda kömürler içerisinde 120 çeşit mineral bulunmuştur. Periyodik tabloda yer alan elementlerin de 76 tanesi kömürde bulunabilir.

Kömürler mineral bileşenleri kökenlerine göre 3 gruba ayrılır.

1. Turbanın çökeldiği ortama dış etkenlerle su, volkan ya da rüzgârın getirmiş olduğu ve organik madde ile birlikte depolanan kırıntılar (kuvars, kil, feldispat vb.).
2. Eskiden su ortamında yaşamış olan organizmalara ait olan ve sonradan turbaya karışan mineral maddeler (midye kabuğu vb.).
3. Ortamda bulunan suyun içinde eriyik halde bulunan mineral maddelerinin, kristallenerek çökmesiyle oluşan mineraller (Ünalın, 2013).

2.5.1. Kömürdeki kükürt çeşitleri

Kömürü oluşturan organik madde oksijen, karbon, hidrojen, azot ve kükürt elementlerinin farklı oranlarındaki bileşiminden meydana gelir. Dolayısıyla kömürün bünyesinde bulunan kükürdün kaynağı da kömüre dönüşen bitkilerdir.

Kömürde organik kükürt, sülfütlere ait kükürt ve sülfat kükürt olmak üzere üç tip kükürt bulunmaktadır.

Sülfat ve sülfütlere ait olan kükürt, kömürün mineral bileşenlerinin arasında bulunan inorganik kükürttür. Sülfütlere ait örnekler pirit, galen, sfalerit ve markasit verilebilir. Piritte kömür içinde oldukça rastlanır. Sülfatlara ait kükürt örneği ise jibs verilebilir (Ünalın, 2013).

Kömür yandığında içermiş olduğu kükürt, oksijen ile birleşerek SO_2 , SO_3 , SO_x gibi sağlığa ve çevreye zararlı gazlar meydana gelmektedir. Bu gazlar atmosfere yayılarak su damlacıklarıyla birleşmekte ve asit yağmurlarını meydana getirmektedir (Kadioğlu ve Tellioglu, 1996). Asit yağmurları bitki örtüsünde oldukça olumsuz etkiler bırakmaktadır. Bunların dışında kömürde bulunan kükürt, kömürün kendiliğinden yanmasını kolaylaştıran bir elementtir (Querol ve ark., 1991).

2.6. Kömürün Sınıflandırılması

Kömür, kömürleşme derecesine bağlı olarak linyit ve alt bitümlü kömürler için düşük ranklı kömürler, bitümlü ve antrasit kömürleri için yüksek ranklı kömürler tanımlaması yapılarak dört ana kategoriye ayrılmıştır. Bu gruplara kahverengi kömürler ve siyah kömürler de denilmektedir (Kural, 1991).

Kömürler kömürleşme derecesi dışında da, içerdiği organik madde tipi (hümit-sapropelik), fiziksel özellikleri (bantlı-bantsız, parlak-mat), fizikokimyasal özellikleri (sert-yumuşak), çökme ortamı (paralik, limnik), taşınıp taşınmaması (otojenik, allojenik), paleocoğrafyası (Lavrazya, Gondvana), kullanım alanları (koklaşabilir kömür, buhar kömürü) gibi birçok farklı özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır (Kural, 1991).

Endüstride uluslararası düzeyde en yaygın olarak kullanılan sınıflama, kimyasal analiz ve ısı değerine göre yapılan ve kömürleşme derecesinin esas alındığı ASTM sınıflamasıdır. Aşağıdaki Çizelge’de ASTM kömür sınıflaması verilmiştir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. ASTM Kömür Sınıflaması (ASTM, 1981).

Sınıf	Grup	Sabit Karbon & Kuru-Külsüz	Uçucu Madde & Kuru-Külsüz	Isıl Değeri KCal/Kg Islak-Külsüz	Kekleşme Özelliği
Antrasit	Meta antrasit	>98	0-2	> 7.780	Kekleşen
	Antrasit	92-98	2-8	> 7.780	
	Yarı antrasit	86-92	8-14	> 7.780	
Bitümlü	Düşük uçuculu	78-86	14-22	> 7.780	Genellikle kekleşen
	Orta Uçuculu	69-78	22-31	> 7.780	
	Yüksek uçuculu A	<69	>31	> 7.780	
	Yüksek uçuculu B	<69	>31	7.220-7.780	
	Yüksek uçuculu C	<69	>31	5.835-7.220	
Alt bitümlü	Alt bitümlü A	<69	>31	5.835-6.390	Kekleşmeyen
	Alt bitümlü B	<69	>31	5.275-5.835	
	Alt bitümlü C	<69	>31	4.610-5.275	
Linyit	Linyit A	<69	>31	3.500-4.610	
	Linyit B	<69	>31	< 3.500	

2.7. Dünyada Kömür Sektörü

Dünyada birincil enerji arzı 1973 ve 2017 yılları arasında 2.2 kat artarak 13.511 mtep (milyon ton eşdeğer petrol) düzeyine ulaşmıştır. Bunun başlıca nedeni

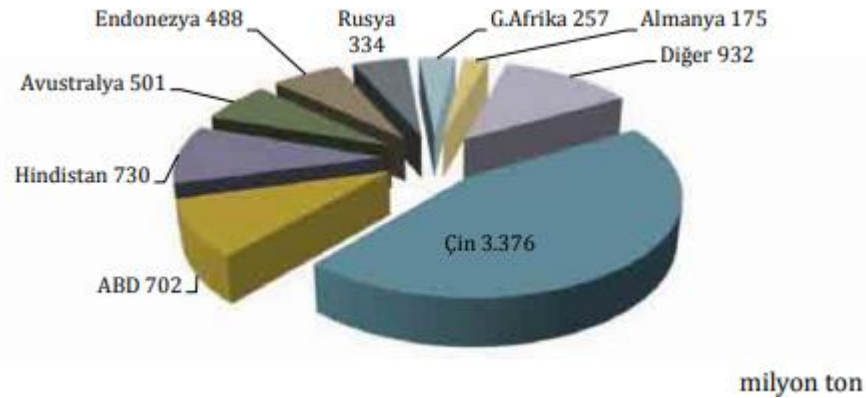
Çin ve Hindistan'ın birincil enerji arzının sürekli artmasıdır (yaklaşık %75). Aynı dönemde kömürün payı %3.5 artış göstermiştir (BP, 2018).

Son yıllardaki Dünya kömür üretimindeki artış Asya kıtasındaki elektrik enerjisi talebinden kaynaklanmaktadır. 2017 yılında kömür üretiminin %44.7'sini (3.376 milyar ton) tek başına Çin gerçekleştirmiştir. Ülkelere göre dünya kömür üretimleri Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

Dünya kömür tüketimi 2017 yılında 7.59 milyar ton düzeyindedir ve bu rakamın geçen yıllara göre önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi ise Çin ve Hindistan gibi ülkelerin enerji ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla kömüre yönelmesidir. Aynı zamanda bazı ülkelerin kömür tüketiminde ise ciddi düşüşler yaşanmıştır. Bunun sebebi de ABD ve Rusya gibi gelişmiş ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesidir.

Dünya kömür ticaretinde taş kömürünün çok büyük önemi vardır. Linyit ise çok fazla ekonomik görünmemektedir. Taş kömürü %75 elektrik üretimi (buhar kömürü) ve %24 demir çelik endüstrisi kullanımı (kok kömürü) olarak dünya ticaretindeki yerini almaktadır. Dünya kömür ticareti hacmi 2017 yılında 1370.3 milyar ton düzeyindedir.

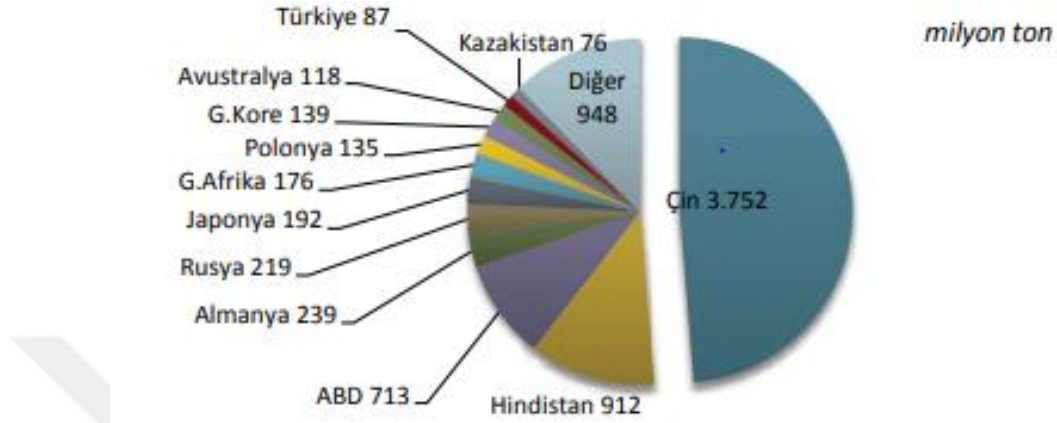
2017 yılında dünya kömür ihracatına Endonezya (390.6 milyar ton) ve Avustralya (378.9 milyar ton) öncülük ederken dünya kömür ithalatında ise Çin (271.1 milyar ton) ve Hindistan (206.3 milyar ton) öncülük etmiştir (IEA, 2018a).



Şekil 2.2. Ülkelere göre 2017 yılı kömür üretimleri (TTK, 2018).

2003'lü yıllarda kömür fiyatları önem kazanmış ve 2011'de koklaşabilir kömür fiyatı ton başına 200 doları, buhar kömürü fiyatı ton başına 120 doların üzerine çıkmıştır. 2003-2012 yıllarındaki artış oranı buhar kömüründe %300 ve koklaşabilir kömürde ise %450'leri bulabilmektedir (IEA, 2016).

2015 yılı dünya kömür tüketiminin yaklaşık yarısı Çin tarafından gerçekleştirilmiştir. Çin'den sonraki sıralama; Hindistan (%10.2), ABD (%9.6), Almanya (%3.1), Rusya (%3) şeklindedir (IEA, 2018b). Ünelere göre 2015 yılı kömür tüketimi Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Ünelere göre 2015 yılı kömür tüketimleri (TTK, 2018).

2.8. Türkiye'de Kömür Sektörü

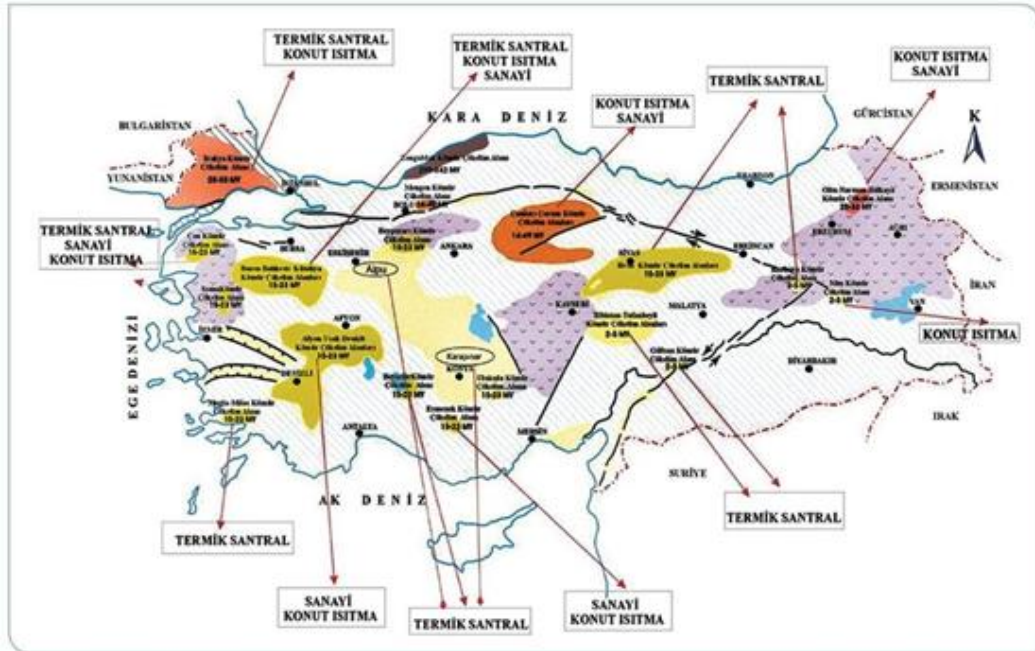
Ülkemizde birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı; 44.28 mtep petrol ürünleri, 44.32 mtep doğalgaz ve 39.56 mtep kömür şeklindedir. 2017 yılında bu dağılım toplam 145.11 mtep düzeyindedir (EİGM, 2018).

Ülkemiz 2017 yılı kömür üretimi 71.46 milyon ton linyit, 1.23 milyon ton taş kömürü ve 1.41 milyon ton asfaltit olmak üzere toplam 74.10 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (EİGM, 2018). 2004 yılında Zonguldak havzasında rüdevans karşılığı özel firmalara üretim başlatılması, özel firmalarda 2015 yılında toplam taş kömürü üretimleri %30.8 oranına çıkarmıştır (TTK, 2018). Ülkemiz linyit açısından dünyada önemli yere sahiptir ve dünya kömür rezervinin yaklaşık %2.1'ini karşılamaktadır. Bununla birlikte linyitlerimizin %79'unun, 2500 kcal/kg ısı değeri altında olması daha çok termik santrallerde kullanımını ön plana çıkartmıştır. Son yıllarda gerçekleştirilen yaklaşık 70 milyon ton civarındaki üretimin %85'i termik santrallerde tüketilmektedir. Linyite dayalı termik santrallerimizin kurulu gücü 8.515 MW olup bu güç, toplam kurulu gücümüzün %23.6'sına karşılık gelmektedir. Rezervleri belirlenen ve termik santral kurulabilecek özellikle olan linyit sahalarımız hızla devreye sokulması ve bilinenlere yeni ünitelerin ilavesi ile kurulu gücümüzün

20.000 MW daha arttırılması mümkün görülmektedir (MTA, 2018a). Aşağıda Çizelge 2.5’de ve Şekil 2.4’te Türkiye’nin önemli linyit havzaları ve sahaları verilmiştir.

Çizelge 2.5. Türkiye'nin önemli linyit havzaları ve sahaları (MTA, 2018a).

Kömür Sahaları	Toplam Rezerv (Ton)	Kömür Sahaları	Toplam Rezerv (Ton)
Afşin- Elbistan	4.642.340.000	Tekirdağ –Saray	141.175.000
Afşin -Elbistan (MTA)	515.000.000	Amasya-Yeniçeltek	19.791.000
Manisa-Soma	861.450.000	Yozgat –Sorgun	13.206.000
Adana-Tufanbeyli	429.549.000	Bolu –Göynük	43.454.000
Adıyaman-Gölbaşı	57.142.000	Çorum-Dodurga	38.500.000
Bingöl –Karlıova	88.884.000	Konya-Karapınar	1.832.000.000
Ankara-Beypazarı	498.000.000	Konya (Beyşehir-Seydişehir)	348.000.000
Afyon-Dinar-Dombayova	941.000.000	Bolu (salıp-Merkez)	98.000.000
Bolu-Mengen	142.757.000	İstanbul (Silivri)	180.000.000
Muğla-Milas	750.214.000	Eskişehir (Alpu)	1.453.000.000
Çankırı-Orta	123.165.000	Eskişehir (Koyunağlı)	57.430.000
Çanakkale-Çan	92.483.000	Edirne	90.000.000
Kütahya-Tunçbilek	317.732.000	Bursa (Keleş - Orhaneli)	85.000.000
Kütahya-Seyitömer	198.666.000	Balıkesir	34.000.000
Sivas-Kangal	202.607.000	Ankara (Gölbaşı)	48.000.000
Kütahya-Gediz	23.945.000	Diğerleri	1.928.810.000
Tekirdağ-Çerçezköy	573.600.000	Tekirdağ -Saray	141.175.000
Tekirdağ-Malkara	618.000.000	Amasya-Yeniçeltek	19.791.000
TOPLAM	17.478.900.000		



Şekil. 2.4. Önemli Kömür Sahaları ve Potansiyel Kullanım Alanları (MTA, 2018a).

2.8.1. Tunçbilek-Kütahya kömür işletmesi

1957 yılında 6974 sayılı kanunla Türkiye Kömür İşletmeleri kurulmuş ve Mahmut Mesuliyetli Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Müessesesi TKİ'nin bünyesine devredilmiştir. Müessese II. Dünya Savaşı sırasında Balıkesir'den Tavşanlı'ya nakledilmiştir. Günümüzde GLİ Müessese Müdürlüğü, Tunçbilek imtiyaz sahasında açık ocak ve yeraltı faaliyetleri olmak üzere çalışmalarını devam ettirmektedir.

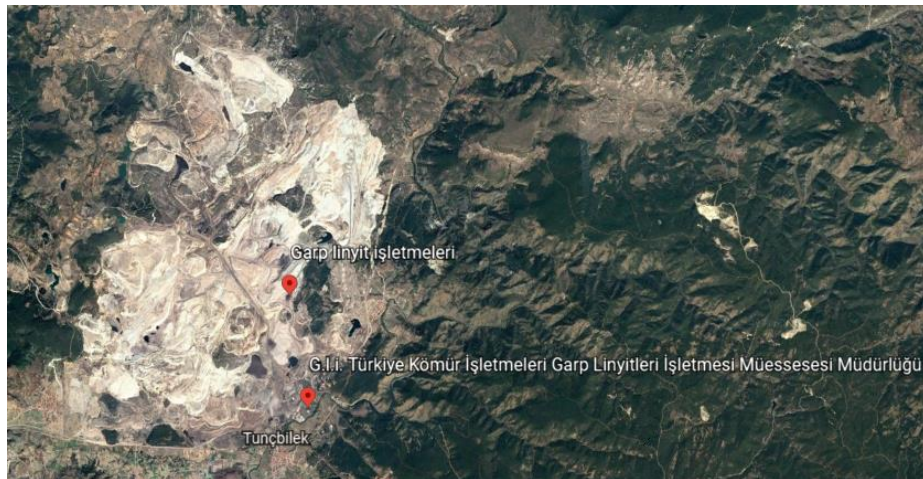
Tunçbilek havzasında bulunan linyitler parlak renkte ve sert yapıdadır. Kömürlerin orijinal nem oranı düşük, ısıl değeri yüksektir. Linyitlerin ısıl değerini arttırmak için yıkama ve kriblaj işlemleri uygulanmaktadır.

Piyasaya verilen kömürler kullanım alanlarına göre, farklı tane boyutlarındadır. Aşağıda Çizelge 2.6'da 1985 yılına kadar GLİ Müessesinin linyit üretimi verilmiştir. Sonrasında Seyitömer bölgesi ayrı bir müessese olup GLİ'den ayrılmıştır. Seyitömer bölgesinin ayrılmasından sonra 1992 yılında 5.873 milyon ton üretim yapılmış, gelişen teknolojiyle beraber günümüzde 6 milyon ton üretime ulaşılmıştır.

Çizelge 2.6. GLİ Müessesinin yıllara göre linyit üretimi

Yıl	1940	1960	1980	1985
Üretim (ton)	149.256	1.698.415	8.746.692	11.172.670

Tunçbilek'te bulunan İR.4364 numaralı imtiyaz sahası, Tavşanlı Domaniç karayolu üzerinde yer almaktadır. Bu sahanın konumu, Tavşanlı'ya 13 km, Kütahya'ya 58 km uzaklıktadır. Bölgenin 2D ve 3D uzay ve hava fotoğrafları Şekil 2.5 ve 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.5. GLİ Tunçbilek 2D uzay ve hava fotoğrafları (Google Earth, 2019).



Şekil 2.6. GLİ Tunçbilek 3D uzay ve hava fotoğrafları (Google Earth, 2019).

2.9. Kömür Zenginleştirme Yöntemleri

Kömür hazırlama işlemleri kömürün külünü azaltmak, kükürt ve nem giderimini sağlamak amacıyla yapılır. Zenginleşen kömürün ısı değeri artar, ekonomik olarak masraflar azalır ve çevresel zarar en aza indirilir.

Kömürdeki kül yapıcı inorganik maddelerin iki kaynağı vardır. Bunlar; bitkilerin bünyesinde bulunan inorganik maddeler (bitkilerde inorganik maddeler max % 2'dir) ve kömürleşme süresinde dış çevreden bitkiye dâhil olan inorganik maddelerdir (su, rüzgar, volkanik hareketler vb. gibi nedenlerle bitkilerin bünyesine girebilmektedirler).

Kömürün bünye külünü oluşturan bu maddelerin serbestleşerek uzaklaştırılması için çok ince boyutlarda öğütülmesi gerekeceğinden sadece kimyasal yöntemlerle giderilebilir. Bunların dışında serbest kül olarak bilinen ve kömürün üretimi esnasında karışan (ara kesmeler, tavan ve taban taşı) inorganik maddeler fiziksel yöntemlerle kömürden kolaylıkla ayrılabilir. Yine kömürün bünyesinde bulunan inorganik kükürt genellikle piritik kükürt ve sülfat kükürdü olarak bulunur ve kömürden yıkama işlemi ile giderilebilir.

Kömür hazırlamanın alt aşamaları, kırma-öğütme, eleme-boyutlandırma, zenginleştirme ve susuzlandırma olarak sayılabilir. Bu işlemler ile inorganik maddelerin (kül yapıcı mineraller ve piritik kükürt) bir kısmını kömürden ayırarak azaltmak ve/veya nem oranını düşürerek kalori değerini yükseltmek mümkün olmaktadır. Kömürün zenginleştirilmesi, kömürden inorganik maddelerin uzaklaştırılması anlamına gelir.

Kömür zenginleştirme işlemleri yaş ve kuru yöntemler olarak sınıflandırılabilir (Çizelge 2.7). Uygulamada yaş yöntemler daha fazla tercih edilmektedir.

Çizelge 2.7. Kömür zenginleştirme yöntemleri (Hacifazlıoğlu, 2015)

Yaş Yöntemler	Kuru Yöntemler
Ağır ortam cihazları (-300+1 mm)	Elle Ayıklama (+30-300 mm)
Jigler (Harz, Baum, Batac) (-300+1 mm)	Bradford Kırıcısı (+30-300 mm)
Spiraller (-1mm+0.075mm)	FGX, FX cihazları (-100+1 mm)
Hidrolik Ayırıcılar (TBS) (-10+0.075 mm)	Havalı Jig (Allair Jig) (-100+1mm)
Modern Gravite Ayırıcılar (MGS, Falcon, Knelson, Kelsey Jig) (-1 mm)	Manyetik Ayırma (dar boyut aralığı)
Köpük Flotasyonu (Klasik, Kolon, Jet Flotasyonu) (-1 mm)	Elektrostatik Ayırma (dar boyut aralığı)
Yağ aglomerasyonu (-1 mm)	Optik Zenginleştirme (dar boyut aralığı)
Kimyasal ve Biyolojik Yöntemler (-1 mm)	

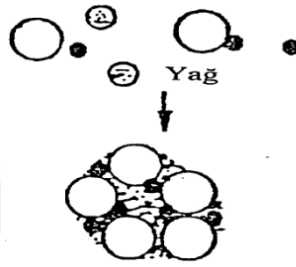
Ülkemizde kömürün zenginleştirilmesi için genellikle yıkama da denilen ağır ortam zenginleştirme yapılmaktadır. Bir kömür yıkama tesisinde (lavvar) kömürün tane boyutuna bağlı olarak Çizelge 2.7’de verilen yöntemlerden birkaç tanesi bir arada kullanılmaktadır. Ancak bu tesislerde belli bir boyutun altındaki ince kömürler şlam olarak atılmaktadır. İnce boyuttaki bu mineral tanelerinin ekonomik olarak kazanılabilmesi için uygulanan yöntemler flotasyon, seçimli flokülasyon ve yağ aglomerasyonu yöntemi olarak sayılabilir.

Flotasyon, çok ince tane büyüklüğündeki minerallerin ayrılmasına olanak sağlayan ve minerallerin yüzey özelliklerinin reaktiflerle değiştirilerek bazılarının ıslanmaz özellik kazanarak hava kabarcığı ile yüzmesi, bazılarının da ıslanarak su içinde batması prensibine dayanan bir ayırma yöntemidir. Flotasyon yöntemi, gravite yöntemleri ile zenginleştirilmeleri mümkün olmadığı için kıymetsiz kabul edilen, pek çok düşük dereceli veya kompleks yapılı cevher yatağının işletilmesini mümkün kılarak, madencilik endüstrisinin gelişmesine yol açmıştır.

2.9.1. Yağ aglomerasyonu yöntemi

Yağ aglomerasyonunda, doğal hidrofobik (kömür, kükürt, molibdenit, grafit gibi) veya yüzey aktif maddeler yardımıyla hidrofobik hale getirilen ince boyuttaki tanelerin, çeşitli yağlar ile bir araya getirilmesi ve boyutlarının büyütülmesi olarak tanımlanabilir. Oluşan yapıya aglomerat adı verilmekte ve bu aglomeratlar çoğunlukla küresel bir yapı kazandıklarından dolayı bu işleme küresel aglomerasyon

da denilmektedir (Laskowski, 1992). Taneleri bir araya getirmek için kullanılan yağ sisteme ilave edildiğinde hidrofob olan kömür yüzeylerinde yayılır. Uygun karıştırma ile yüzeyleri yağ ile kaplanmış kömür taneleri birbirlerine yaklaşır temas ettiğinde yağlar arasında bir etkileşim meydana gelerek taneler bir araya gelirler (Şekil 2.7) (Somasundaran, 1980; Sadowski, 1994). Bu yöntemde kömürün zenginleştirilmesi hidrofobik kömür aglomeratlarının hidrofilik (inorganik) kısımdan eleme yoluyla ayrılmasıyla tamamlanır.



Şekil 2.7. Mineral tanesi ile yağ damlacığının etkileşimi

Yağ aglomerasyonu yöntemi, temiz kömür taneleri ile mineral tanelerinin arasındaki yağ tarafından ıslanabilirlik farkına dayanmaktadır. Kömür yüzeylerinin su yerine yağ tarafından ıslatılabilmesi ancak yeterince hidrofob olması ile mümkündür (Laskowski ve Yu, 2000). Kömürün heterojenik yapısından dolayı petrografik yapısı, tipi, rankı, yüzeylerin oksidasyonu yüzey özellikleri oldukça farklı olabilmekte ve dolayısıyla aglomerasyon davranışı değişebilmektedir (Guy ve ark., 1996). Eğer kömür yüzeyleri yeterince hidrofobik değilse aglomerasyon yeteneğini arttırmak için birtakım yüzey aktif maddeler kömür-su-yağdan oluşan süspansiyona ilave edilmektedir. Kömürün hidrofobitesi onun rankıyla ilişkilidir ve linyitten antrasite doğru artmaktadır.

Aglomerasyon yöntemi uzun yıllardır biliniyor olmasına rağmen kömürün heterojenik yapısından dolayı hidrofobik ve hidrofilik kısımlar içermesi nedeniyle kömür-yağ-su arasındaki etkileşim henüz tam anlamıyla izah edilememiştir.

Yağ aglomerasyonunu etkileyen parametreler kömürün özellikleri (rankı, oksidasyon durumu, petrografisi ve kompozisyonu gibi), tane boyutu, pülp yoğunluğu ve pH'ı, yağ tipi ve konsantrasyonu, yüzey aktif madde veya elektrolit varlığı, yağın sudaki emülsifikasyonu, karıştırma hızı ve süresi olarak sayılabilir.

2.10. Mikrodalga Enerjisi ve Kömür Hazırlama/Zenginleştirmedeki Yeri

Mikrodalga enerjisi, 300 MHz ile 300 GHz aralığında frekansa sahip iyonize olmamış elektromanyetik ışınım (radyasyon) olarak tanımlanmaktadır (Schiffmann, 1995). Mikrodalgalar yüksek dalga boyuna ve düşük enerji miktarına sahip olup (Haque, 1999) 2.450 MHz için yaklaşık %50-72'lik, 915 MHz için yaklaşık %80-87'lik bir dönüşüm verimiyle elektrik enerjisinden elde edilebilmektedir. Mikrodalga ile ısıtma klasik ısıtmadan farklı olarak, numunenin derinliklerine nüfuz edebilen elektromanyetik enerji formunda olmasından dolayı seçimlilik yani matristeki bazı fazların diğerlerinden çok daha hızlı ısınabilmesi avantajına sahiptir. Bu avantajlarından dolayı başta metalürji sanayi olmak üzere cevher/kömür hazırlamada kullanımını yaygınlaştırmaktadır (Standish ve Worner, 1991; Kingman ve ark., 2000).

Mikrodalga enerjisinin moleküler bir harekete yol açması, iyonik parçacıkları hareketi ve(ya) dipolar parçacıkların yer değiştirmesi nedeniyledir (Kingston ve Jassie, 1985). Bu iki husus, elektromanyetik alandaki çözünen veya titreşen iyonların iletimi ve polarize olmuş moleküllerin bir düzene girmesi anlamına gelmektedir (Decareau, 1985).

Malzemenin mikrodalga ile ısınabilmesi belirli bir frekansta ve ısıda olan elektromanyetik enerjin malzemeye nüfuz ederek, malzeme içerisinde ısı olarak dağılmasıyla mümkündür. Malzeme içerisinde dağılmış olan bu enerji, uygulanan enerjinin ne kadarının ısıya dönüştürüldüğünü belirler. Mikrodalga enerjisi uygulanacak olan malzemenin bu bahsedilen kayıp faktörü ne kadar fazla ise ısınabilme o kadar kolay gerçekleşir (Toraman ve Depçi, 2007). Mikrodalga enerjisinin malzemeler üzerinde farklı etkileşimleri olabilir. Düşük kayba sahip olan malzemelerde bu elektromanyetik enerji malzeme üzerinde bir kayba uğramadan geçer veya bu enerjiyi yansıtan malzemeler de herhangi bir nüfuz olmadan enerjiyi yansıtabilir. Yüksek kayıplı malzemeler mikrodalga enerjiyi absorbe eder ve ısınabilme fazla olur. Kayıp faktörüne bağlı olarak birden fazla dielektrik özellikte faz içeren malzemeler ise enerjiyi geçirirli fazdan geçirirken soğurucu olan fazı seçimimli olarak ısıtabilir. Kömür oluşumuna göre değişkenlik gösteren heterojen bir yapıya sahip olduğu için mikrodalga enerjisi uygulandığında bu enerji kömürü seçimli olarak ısıtır (Clark ve ark., 2000). Kömürün içinde bulunan organik maddenin kayıp faktörü 0.25 gibi çok düşük bir değerde olduğu için mikrodalga ile

ısıtma zordur. Suyun kayıp faktörü 12 ve kömürde bulunan pritin ise kayıp faktörü 17 gibi yüksek bir değerde olduğu için ısıtma işlemi kolaydır (Toraman ve Depçi, 2007).

2.10.1. Kömürün mikrodalga enerji ile zenginleştirilmesi

Kömürün heterojen yapısı nedeniyle karakterizasyonu zor olup organik bileşeninde büyük değişiklikler içermesinin yanı sıra, inorganik bileşen ve nem içeriği de çok çeşitli olabilmektedir. Kömürün bileşimindeki bu farklılıklar büyük oranda rank ve orjininden kaynaklanmakta olup dielektrik özellikleri de farklı olmaktadır. 2.45 GHz'de tüvenan kömürün dielektrik sabiti 1.5-10 F/m arasında değişirken dielektrik kaybı ise 0.04-3 arasında değişebilir (Marland ve ark., 2001; Chatterjee ve Misra, 1990). Linyit kömürünün dielektrik sabitinin 4.7-5.3 arasındadır (Toraman ve Depçi, 2007). Kömürler düşük-orta mikrodalga absorblayıcı olarak tanımlanabilmektedirler (Kappe ve ark., 2009).

Kömürün yapısı incelendiğinde, alifatik hidrokarbon yapılarının mikrodalgada absorbe etme potansiyeli zayıf iken (Metaxas ve Meredith, 1983) hidroksil, aldehitler, ketonlar ve karboksilik asitler gibi fonksiyonel gruplar, bir molekülün polar olmayan yapısını etkileyerek mikrodalga absorbe etmede bir artışa neden olabilirler. Aromatik yapılar ise kömürün mikrodalga enerjisine ilgisini arttıran serbest şarj taşırlar (Mingos ve Baghurst, 1991). Linyitler büyük ölçüde karboksilik asit, aldehitler ve alkoller (-COOH, -OH, gibi) gibi fonksiyonel oksijen gruplarına sahip tek aromatik halkalardan oluşmaktadır. Kömürün karbon yapısı ile dielektrik özellikler arasında bir ilişki bulunduğundan vitritlerin yarı iletken gibi davrandıkları söylenebilir (Schuyer ve Van Krevelen, 1955).

Vitritler aynı zamanda en önemli masarel grup olup kömürün koklaşma, flotasyon ve yanma davranışını önemli ölçüde etkilerler (Polat ve ark., 2003).

Günümüzde mikrodalganın kömürün ısı özelliklerine, öğütülebilirliğine, susuzlandırılmasına ve kömürden kükürt giderimine etkisi üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Kömürün mikrodalga ile ısınmasında, kömürün bünyesinde birden fazla faz olduğundan farklı dielektrik geçirgenlik ve kayıp faktöründen dolayı seçinimli ısıtma mümkündür. Her bir faz farklı ısındığı için kömür içerisinde termal çatlaklar meydana gelmektedir. Kömürün içindeki organik maddenin kayıp faktörü suya göre çok düşüktür. Kömürün içinde bulunan su molekülleri mikrodalga enerji

uygulandığında hareket ederek sürtünme ısısı oluşturur. Isınan su molekülleri faz değiştirir ve kömür matrisinde iç baskılara neden olur. Bu baskı sonucu kömür yapısı zayıflar ve öğütülebilirlik hızlanır (Toraman ve Depçi, 2007).

Kömürde inorganik kükürt çoğunlukla piritik ve sülfat formunda bulunur. Piritik kükürtün manyetik duyarlılığı ısı ile artırılarak kömürden uzaklaştırmak mümkündür fakat ısıtma işlemiyle birlikte kömür de ısınır ve enerji kaybı yaşar. Seçimli bir ısıtmaya sahip olan mikrodalga işleminde pirit, kömürden çok daha hızlı ısınır ve manyetik duyarlılığı artırılmış olur (Fanslow ve ark., 1980). Kil vb. safsızlıkların gideriminde yapılan kömür yıkama işlemi sonrasında yapılan kurutma işlemi, iri tanelerde olumlu sonuç verirken ince tanelerde enerji kaybına sebebiyet vermektedir. Mikrodalga ile yapılan kurutma işlemi seçimli olduğu için hem hızlıdır hem de ince boyuttaki tanelerde de etkili bir yöntemdir (Dzinomwa ve ark., 1997).

Literatürde yağ aglomerasyonu ile ilgili oldukça fazla yayına rastlamak mümkündür. Kömürlerin kül ve kükürt içeriğinin azaltılması bu yöntem ile mümkün olmaktadır. Uslu ve arkadaşları (2006), Yusufeli bitümlü kömürünün gazyağı ile aglomerasyonu sonucunda piritik kükürdü %5.26'dan %1.33'e düşürmüşlerdir. Tunçbilek linyit kömürünün yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesinin araştırıldığı bir çalışmada optimum şartlarda kül içeriğinin % 40.67'den %11.95'e düşürüldüğü, kalorifik değerinin ise 4240 kcal/kg'den 7122 kcal/kg'a yükseltildiği belirtilmektedir (Düzyol ve ark., 2014). Cebeci ve Eroğlu (1998), Yozgat-Ayırđam linyit kömürlerinin aglomerasyonunda çeşitli ağır yağlar ile yüzey aktif maddelerin karışımlarını kullanmışlar ve %35.27 küllü kömürden %90 verimle %17 kül orana sahip temiz kömür elde etmişlerdir. Kükürdü ise %5.26'dan %1.33'e düşürmüşlerdir. Yine yüksek kül içerikli Amasya-Eskiçeltek linyitlerinin yağ aglomerasyonunun araştırıldığı başka bir çalışmada, uygun şartlarda yağ aglomerasyonu deneyleri neticesinde %51.03 olan kül içeriğinin %29.4'e düşürüldüğü ve %78 yanabilir kısım verimi ile kazanıldığı ifade edilmektedir (Düzyol ve Şensöğüt, 2014). Yapılan yağ aglomerasyonu çalışmaları yalnızca tüvenan kömür ile değil yıkanmış kömür (Düzyol, 2015) veya atığı da olabilmektedir (Yaşar ve ark., 2018).

Yağ aglomerasyonu yöntemi ile piritik kömürün tamamından uzaklaşmak mümkün olabilmektedir. Hatta tane boyutu küçüldükçe kül ve piritik kükürt gideriminin daha olumlu olduğu literatürde ifade edilmektedir (Şahinoğlu ve Uslu, 2014). Simmons ve Keller (1986), 20 mikronun altına öğütülmüş ince kömür

tozlarına, organik bir sıvı ilave edilerek kömür taneciklerinin seçimli olarak topaklaşması sağlamış ve bir elekten elemek suretiyle % 2'nin altında kül içeren temiz kömür elde etmişlerdir. Bu yöntemle kömürden piritik kükürdün neredeyse tamamının atılması mümkün olmuştur. Ratanakandilok ve arkadaşları (2001) ise MaeMoh kömürünün kül içeriğini, metanol (CH_3OH) / potasyum hidroksit (KOH) ve CH_3OH /su ekstraksiyonu ile piritik kükürtte % 36-74 aralığında, organik kükürtte % 20-42 aralığında ve toplam kükürtte % 33-62 aralığında azaltmışlardır. Yapılan deneylerde ortama KOH eklenince, kükürt gideriminin daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Yağ aglomerasyonu sonrası elde edilen aglomeratların flotasyon yöntemi ile kazanılması da mümkündür. Bu durumda yapılan işleme aglomerat flotasyonu adı verilmektedir. Gence (2006), % 49.49 küllü Zonguldak kömürünün çeşitli yağlarla aglomerasyonunu araştırmış ve en yüksek verimi hegzan ile elde etmiştir. Flotasyon yöntemi ile % 92.17 yanabilir verimle kazanılan aglomeratların külü % 10.87'dir. Kömürün petrografik yapısı kadar (Guo ve ark., 2018) nemi (Yu ve ark., 1995)'de aglomerat yapısını etkilemektedir.

Yağ aglomerasyonu işleminin en büyük dezavantajı tüketilen yağ miktarının fazla olmasıdır. Bu nedendir ki yağ aglomerasyonu endüstriyel anlamda yaygınlaşmamıştır. Ancak tüketilen yağ miktarının azaltılması yönünde çeşitli araştırmalar halen devam etmektedir. Netten ve arkadaşları (2016) yağın su ile emülsiyonu ile kullanılan yağ miktarında 10 kat azalmanın mümkün olduğunu ifade etmişlerdir. Ancak yağın ultrasonik emülsiyonunun herhangi bir olumlu etkisi olmamış aksine olumsuz etkilemiştir (Şahinoğlu ve Uslu, 2013). Bununla birlikte, kömürün ultrasonik muamelesinin kömürün yanabilir kısım verimi, kül ve piritik kükürt giderimine olumlu etkileri olduğu ifade edilmiştir (Şahinoğlu ve Uslu, 2013). Şahbudak (1998), taş kömürünün aglomerasyonunda kullanılan yağ miktarını azaltmak amacıyla aglomerasyon öncesi sisteme NaCl , FeCl_2 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$, CCl_4 , Metanol, Etanol, Broform ilave ederek düşük gazyağı konsantrasyonlarında (% 25'e kadar) verimin arttığını ifade etmişlerdir. Bağlayıcı sıvı kullanılmadan yapılan deneylerde sadece ön işlem maddesinin kullanılmasının kömürün aglomerasyonun gerçekleşmediği ancak % 15 yağ ilavesinde verimin % 1-7 oranında arttığını belirtmişlerdir. Dolayısıyla aglomerasyon öncesi çeşitli reaktiflerin kullanılması ile aglomerasyon veriminin arttığı söylenebilir. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Şimşek, 1999) ve NaCl 'nin

(Cebeci ve ark., 2002) taşkömürünün yağ aglomerasyonuna olumlu etkisinin olduğu literatürde belirtilmiştir.

Taguchi deneysel tasarımı (Kumar ve ark., 2015; Chary ve Dastidar, 2012), Box-Behnken deneysel tasarımı (Yadav ve ark., 2017), Box-Wilson deneysel tasarımı (Cebeci ve Sönmez, 2006) gibi bazı deneysel tasarım yöntemleri ile birlikte yapay sinir ağları (Yadav ve ark., 2017), Support vector regression-GP (SVR-GP) modellemesi (Garga ve ark., 2017) ve aglomerat büyümesinin modellenmesi (Spoelstra, 1989) gibi istatistiksel ve matematiksel yöntemler ile yağ aglomerasyonu yöntemi hızla geliştirilmeye devam etmektedir.

Etkili bir kömür hazırlama işlemi için kömürün elektriksel geçirgenliği önemli olup (Peng ve ark., 2017) kömürün mikro çatlak oluşumuna mikrodalga'nın faydası bilinmekle birlikte (Özbayoğlu ve Depçi, 2006), bu etki modellenmiştir (Huang ve ark., 2018). Yine kömürün içerisinde bulunan piritin, manyetik ayırma öncesinde mikrodalga enerjisi ile güçlendirilmesi (Zhang ve ark., 2018) dolayısıyla daha etkili bir ayırma sağlanmıştır (Uslu ve ark., 2006). Mikrodalga ile cevherlerin muamelesi saf sülfür minerallerinin manyetik özelliğini artırırken Can ve Bayraktar (2007) pirit, kalkopirit ve galenin hidrofobluğunun azaldığını belirtmiştir (Orumwense ve Negeri, 2003). Mikrodalga'nın manyetik duyarlılığı artırmadaki olumlu etkisi ile ilmenitin yüksek tenörle kazanımını da sağlamıştır (Kingman ve ark., 2000). Düşük sıcaklık ve basınçta kömürün hidrokarbonlara dönüştürülmesinde de mikrodalga'nın olumlu etkisi (Singh ve ark., 2015) olduğu ifade edilmiştir. Toraman (2012), kömürden kok eldesi için mikrodalga enerjiden yararlanmıştır. 3 mm altına öğütülmüş olan kömür 0.3 kW'lık güç seviyesinde ve 2 saat süren mikrodalga uygulamasından sonra ticari kok dayanıklılığında kok elde etmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Numunenin Hazırlanması

Kömürün yağ aglomerasyonuna mikrodalga ısıl ön etkisinin araştırıldığı bu yüksek lisans tez çalışmasında Tunçbilek Ömerler yeraltı maden ocağından temin edilen (yaklaşık 64 kg) tüvenan linyit kömürü kullanılmıştır. Numunenin önce çene açıklıkları farklı olan 2 adet çeneli kırıcı ile bir dizi boyut küçültme işlemi ile boyutu küçültülmüş daha sonra konileme-dörtleme ile miktarı 1.5 kg'a düşürülmüştür. Çubuklu değirmen ile -106 µm tane boyutuna öğütülerek yağ aglomerasyonu için uygun boyuta hazırlanmıştır.

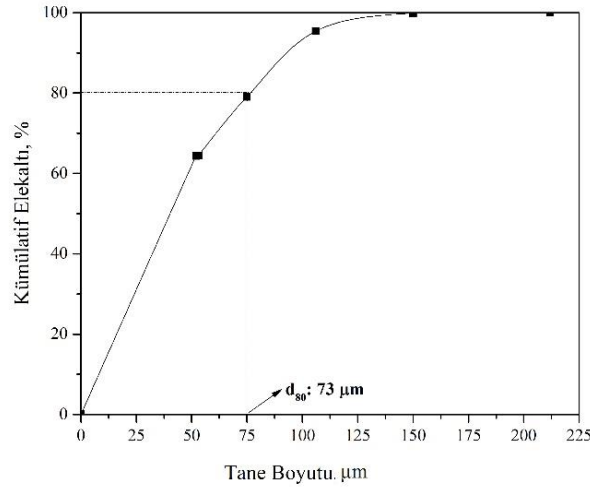
3.2. Deneylede Kullanılan Kimyasallar

Yağ aglomerasyonu deneylerinde bağlayıcı sıvı olarak gazyağı, madeni yağ, mazot ve bitkisel atık yağ olmak üzere 4 farklı yağ kullanılmıştır. pH ayarlaması, hidroklorik asit (HCl) ve sodyum hidroksit (NaOH) ile yapılmış ve tüm deneylerde monodistile su kullanılmıştır.

3.3. Kömürün Kısa Analizi

Kömür numunesinin nem analizi gerçekleştirilmiş ve havada kuru haldeki neminin %9.3 olduğu belirlenmiştir. Tüm numune etüve konularak nemi giderilmiştir. Deneyler öncesinde oda ısısında numunenin nemi yeniden ölçülmüş ve havadan %5.4 nem aldığı belirlenmiştir. Aynı numunenin kalorisi, laboratuvarında bulunan Leco AC-350 marka cihaz ile ölçülerek ısıl değerinin 4730 kcal/kg olduğu tespit edilmiştir. Kül analizlerinde yine laboratuvarında bulunan kül fırını kullanılmış ve tüvenan kömürün kül içeriğinin %29.42 olduğu tespit edilmiştir. Tüm analizler standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir (ASTM D 3173-03, 2010; ASTM D 5865-10a, 2010; ASTM D 3174-04, 2010).

Numunenin tane boyut dağılımı elek analizi ile belirlenmiş d_{80} değerinin (tanelerin %80'inin geçtiği elek açıklığı) 73 µm olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.2. Kömür numunesinin tane boyut dağılımı

3.4. Yağ Aglomerasyonu Deneyleri

Yağ aglomerasyonu deneylerinde 5 gram kömür numunesi 300 ml saf su ile cam bir deney hücresinde yüksek hızda karıştırılarak iyi bir dağılma sağlanmıştır. Süspansiyonun pH'ı istenilen değerde HCl veya NaOH ilavesi ile ayarlandıktan sonra sisteme yağ ilave edilmiştir. Uygun aglomerasyon süresince sistem karıştırılmaya devam edilmiş sonrasında sistem durdurularak süspansiyon test eleği (106 µm) üzerine dökülmüştür. Aglomera olan kömürün aglomerat olmayan kısımdan ayrılmasının sağlanması için elek üstünde kalan aglomeratlar yıkanmıştır. Elek üzerinde kalan malzeme filtre kâğıdında süzülerek kurutulmuştur. Daha sonra tartılarak ağırlıkları ve kül analizi ile kül içerikleri belirlenmiştir. Yanabilir kısım verimi (YKV, %) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$YKV, \% = 100 \frac{A(100 - A_{kül})}{B(100 - B_{kül})} \quad (1)$$

Burada; A ve B sırasıyla aglomerat ve besleme yüzdesini ifade ederken $A_{kül}$ ve $B_{kül}$ sırasıyla aglomeratların ve beslemenin kül içeriğini ifade etmektedir.

3.5. Zeta Potansiyeli Ölçümleri

Zeta potansiyeli ölçümleri, süspansiyonun doğal pH değerinde ve pH'a bağlı olarak Brookhaven Zeta Plus cihazı ile ölçülmüştür. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen birbirinden bağımsız en az dört anlamlı ölçümün ortalaması alınmıştır.

3.6. Mikrodalga Uygulaması

Mikrodalga ölçümleri için Arçelik marka, 674 model (6 ısı programlı) mutfak tipi mikrodalga kullanılmıştır. Kayık krozelere yerleştirilen kömür numuneleri farklı güç ve sürelerde mikrodalga işlemine tabii tutulmuştur. Mikrodalga uygulaması sonrası numunelerin sıcaklık değerleri, çift lazerli uzaktan ısı ölçebilen Cem marka (Dt 8869H model) lazerli yüzey termometresi kullanılarak ölçülmüştür.

3.7. Termogravimetrik Analiz

Kömrün termogravimetrik analizi, PL (Polymer Laboratories) model TGA 1500 termogravimetrik analiz cihazı ile yapılmıştır. Cihazın platin kefesine konulan kömür numunesi, lineer ısıtma hızında oda sıcaklığından başlanarak 900 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Deneyler, 5 ml/dak akışkan hava ortamında ve 10 °C/dak ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ve numune ağırlığındaki değişim bilgisayar tarafından sürekli kontrol edilmekte olup termogravimetrik analizlerden elde edilen TG (termogravimetrik) ve DTG (diferansiyel termogravimetrik) eğrileri yorumlanmıştır.

3.8. FTIR Analizleri

Tüvenan kömür, mikrodalga uygulanmış kömür, mikrodalga uygulaması sonrası yapılan yağ aglomerasyonundan elde edilen aglomeratların ve farklı yağların spektrumları 4000-400 cm^{-1} aralığında Bruker marka Vertex 70 model FTIR ile çekilmiştir.

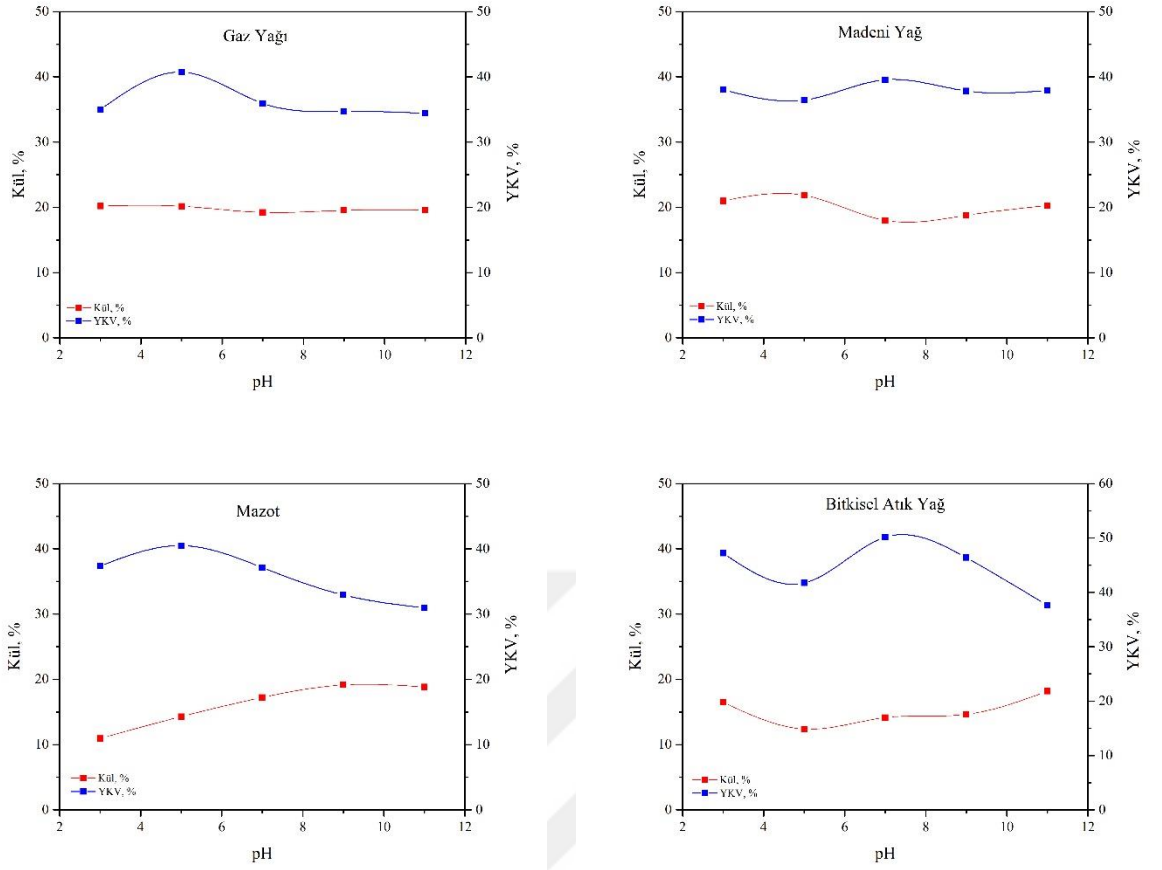
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Kömürün Yağ Aglomerasyonu

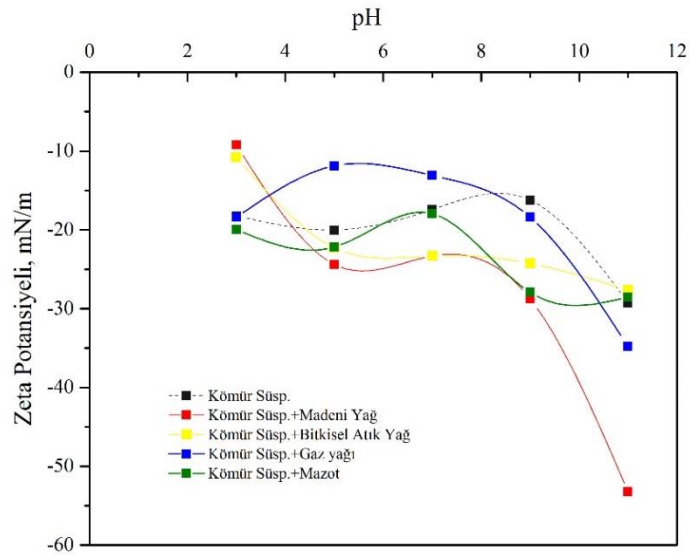
4.1.1. Kömürün yağ aglomerasyonuna pH'ın etkisi

pH yağ aglomerasyonu davranışını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle farklı yağlar ile farklı pH'larda yağ aglomerasyonu deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.1'de verilmiştir. Süspansiyonun doğal pH değerlerinde gazyağı ve mazot ile (gazyağı; pH=5.1 ve mazot; pH= 5.4) yüksek YKV ve düşük küllü aglomeratlar elde edilirken madeni yağ ve bitkisel atık yağ ile en iyi sonuçlar pH 7'de elde edilmiştir. pH'ın etkisi genellikle kömür ve yağ damlaları arasındaki itme enerji potansiyeli ve kömür ve mineral madde taneleri arasındaki zeta potansiyeli ile açıklanabilir. Bu nedenle çalışılan pH'larda ölçülen zeta potansiyeli değerleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Gazyağı ve mazot ile yapılan deneylerde nötr pH değerlerinde kömür taneleri ve yağ damlaları arasındaki itme kuvvetleri minimum olup, yağ damlacıkları kömür yüzeylerinde kolaylıkla yayılabilmiş ve bunun sonucunda da bir aglomerasyon derecesine ulaşılmıştır (Gürses ve ark., 1997). Madeni yağ ve bitkisel atık yağ ile asidik ortamda itme kuvvetlerinin minimum olmasına karşın en iyi aglomerasyona nötr pH değerlerinde ulaşılmıştır. Yüksek pH'ta ise gazyağı, madeni yağ, mazot ve bitkisel atık yağ için itme kuvvetlerinin maksimum olması nedeniyle aglomerasyonun başarısı düşük olmuştur (Leong ve Boger, 1990).

En düşük kül içerikli aglomeratlar en yüksek YKV değeri ile bitkisel atık yağın kullanıldığı pH 7'de elde edilmiştir. Benzer bir durum Yaşar ve arkadaşlarının (2018) Tunçbilek kömür yıkama tesisi atığının ayçiçek yağı kullanarak gerçekleştirdikleri aglomerasyon çalışmalarında da ifade edilmiştir.



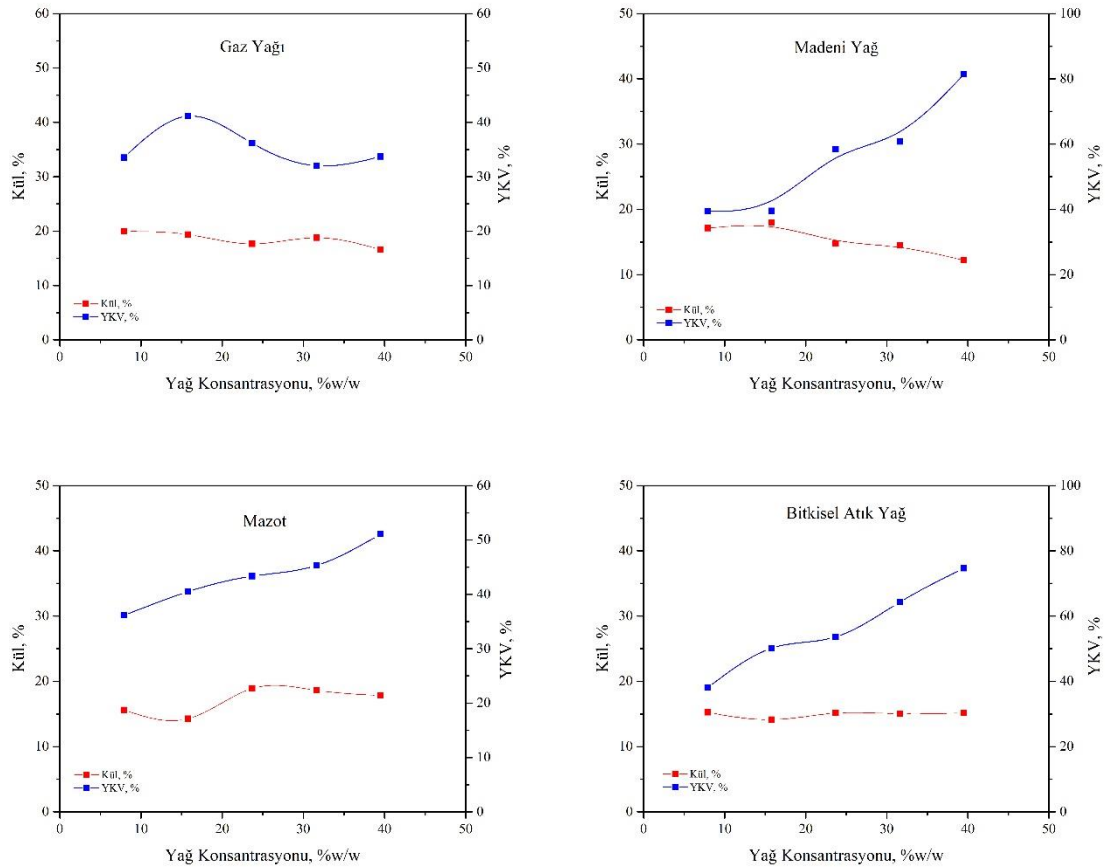
Şekil 4.1. Kömürün aglomerasyonuna pH'nin etkisi (yağ konsantrasyonu %15.8; karıştırma hızı 500 dev/dak; aglomerasyon süresi 3 dakika)



Şekil 4.2. Farklı pH'larda yağ varlığında süspansiyonun zeta potansiyeli

4.1.2. Kömürün yağ aglomerasyonuna yağ konsantrasyonunun etkisi

Yağ konsantrasyonu, aglomerasyon verimini, aglomerat yapısını ve seçimliliği etkileyen önemli bir parametredir (Capes ve Germain, 1982). Bu nedenle yağ konsantrasyonunun etkisi incelenmiş ve sonuçlar Şekil 4.3’de sunulmuştur. Tüm yağlarla yapılan deneylerde yağ konsantrasyonu arttıkça elde edilen aglomeratların kül içerikleri azalmıştır. Buna bağlı olarak YKV değerleri de (gazyağı hariç) belirgin bir artış sağlanmıştır. Yağ aglomerasyonunda iyi bir aglomerasyona ulaşmak, tane yüzeylerinin yağla yeterince kaplanmış olması ile mümkündür. Düşük miktarlarda yağ ilavesi oluşan mikro-aglomeratların boyutları, yağ miktarının artmasıyla artarak daha büyük aglomeratların elde edilmesine yol açmıştır. Dolayısıyla artan yağ konsantrasyonu ile yağ, kömür yüzeylerinde yeterince dağılmış ve kömür tanelerinin bir araya gelmesini sağlayarak aglomeratların kül içeriklerinin azalmasına neden olmuştur. Aynı zamanda kazanılan aglomerat miktarı da fazla olmuş bununla birlikte YKV değerlerinde de artışa yol açmıştır (Düzyol, 2015). Buna paralel olarak artan yağ konsantrasyonu ile kömürün hidrofobisitesi artmıştır. Madeni yağ, mazot ve bitkisel atık yağda en iyi sonuçlar %39.5 yağ konsantrasyonunda elde edilmişken gazyağı için bu değerin daha düşük olduğu belirlenmiştir.

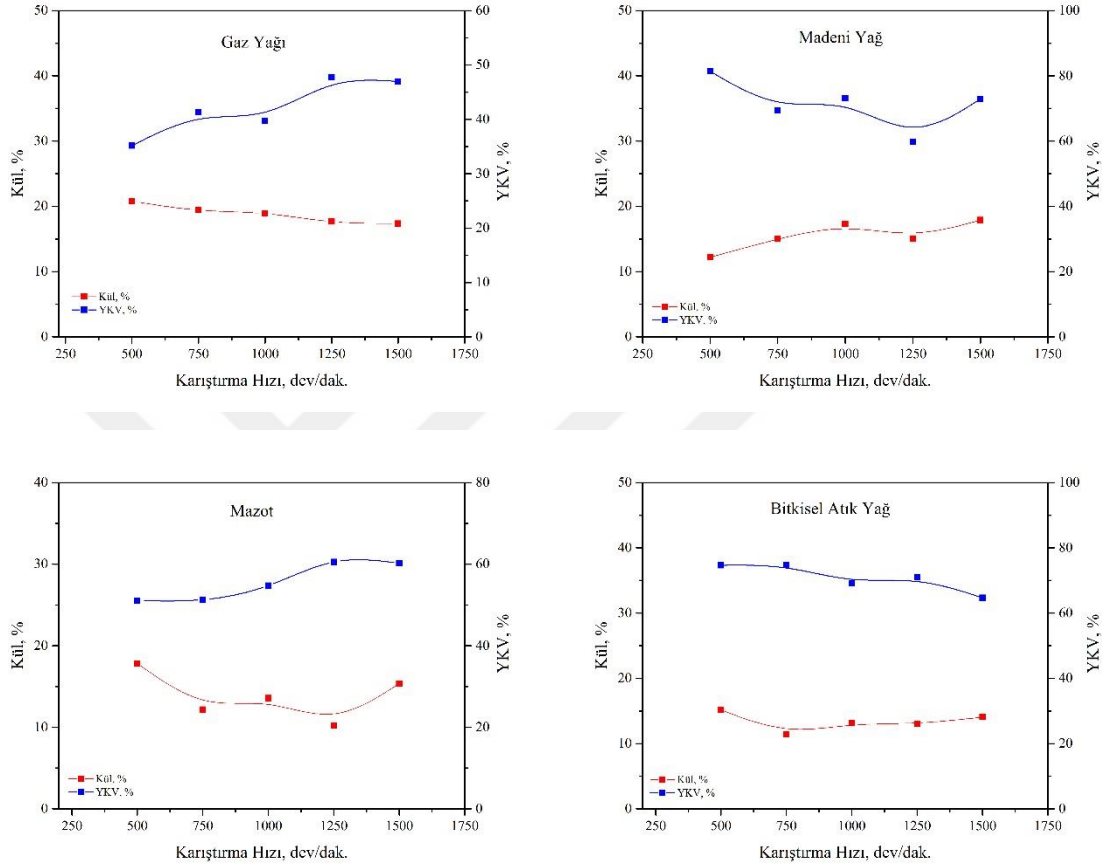


Şekil 4.3. Kömürün farklı yağlarla aglomerasyonuna yağ konsantrasyonunun etkisi (aglomerasyon süresi 3 dakika; karıştırma hızı 500 dev/dak; pH: gazyağı ve mazot için 5, madeni yağ ve bitkisel atık yağ için 7).

4.1.3. Kömürün yağ aglomerasyonuna karıştırma hızının etkisi

Farklı karıştırma hızlarında gerçekleştirilen yağ aglomerasyonu deneylerinden ulaşılan sonuçlar Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekil 4.4'ten görüldüğü gibi, gazyağı ve mazotun kullanıldığı testlerde, karıştırma hızının artması ile elde edilen aglomeratların kül içeriklerinde belirgin bir azalma gözlenmiş ve buna bağlı olarak YKV değerlerinde de artış olmuştur. Yüksek hız tanelerin yağ ile kaplanmasını ve yağ ile kaplanmış tanelerin bir araya gelerek aglomerat yapısı oluşturma ihtimalini arttırmıştır. Aynı zamanda yüksek karıştırma hızlarında yağ damlalarının daha iyi dağıldığı ve tane-yağ damlası çarpışma olanağının arttığı da söylenebilir. Ancak çok yüksek karıştırma hızlarında bu bağ yapısının bozulduğu ve dolayısıyla kül içeriklerinin arttığı bilinmektedir (Chary ve Dastidar, 2012). Dolayısıyla madeni yağ ve bitkisel atık yağın kullanıldığı deneylerde yüksek hızlarda elde edilen

aglomeratların kül içerikleri fazla olurken YKV değerleri de düşük olmuştur. Çeşitli araştırmacılar karıştırma hızının artmasıyla aglomerasyon başarısının arttığını ancak belli bir kritik değerinden sonra azaldığını ifade etmişlerdir (Gence, 2006; Cebeci ve Sönmez, 2006; Aslan ve Ünal, 2011).

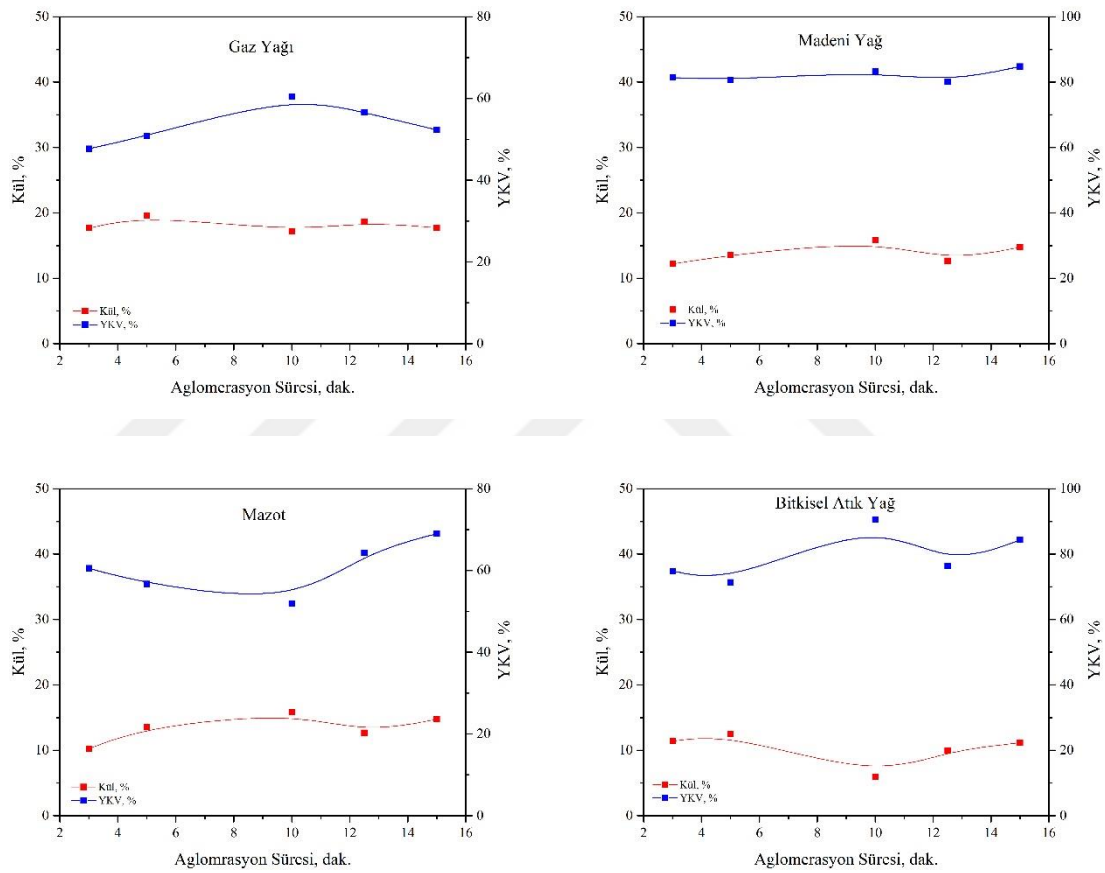


Şekil 4.4. Kömürün farklı yağlarla aglomerasyonuna karıştırma hızının etkisi (aglomerasyon süresi 3 dakika; pH: gazyağı ve mazot için 5 ve madeni yağ ve bitkisel atık yağ için 7; gazyağı konsantrasyonu % 15.8 ve diğeri için % 39.5).

4.1.4. Kömürün yağ aglomerasyonuna aglomerasyon süresinin etkisi

Karıştırma hızına benzer olarak aglomerasyon süresi de aglomerasyonu etkileyen parametrelerden biri olup çalışmada aglomerasyon süresinin etkisine bakılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.5'te verilmiştir. Aglomerasyon süresinin artması ile elde edilen aglomeratların kül içeriklerinde belirgin bir değişim olmazken YKV değerleri değişmektedir. Aglomerasyon süresinin artması ile tane-yağ-tane bir

araya gelme olasılığı artmaktadır ancak bu sürenin oldukça uzun tutulması oluşan aglomerat yapısının içerisine istenmeyen kül yapıcı inorganik maddelerin de girmesi ihtimalini arttırabilecektir. Bu nedenle optimum sürenin deneylerle belirlenmesi yağ aglomerasyonunda önemlidir (Shukla ve Venugopal, 2019). Gazyağı ve bitkisel atık yağın kullanıldığı deneylerde 10 dakikalık aglomerasyon süresi uygun olurken madeni yağ için 3 dakika yeterli olmaktadır. Mazot için ise en iyi sonuçlara ancak 15 dakikalık bir aglomerasyon süresinde ulaşılmıştır.



Şekil 4.5. Kömürün farklı yağlarla aglomerasyonuna aglomerasyon süresinin etkisi (pH: gazyağı ve mazot için 5, madeni yağ ve bitkisel atık yağ için 7; yağ konsantrasyonu gazyağı için %15.8 ve diğer yağlar için %39.5; karıştırma hızı gazyağı ve mazot için 1250 dev/dak; madeni yağ için 500 dev/dak ve bitkisel atık yağ için 750 dev/dak).

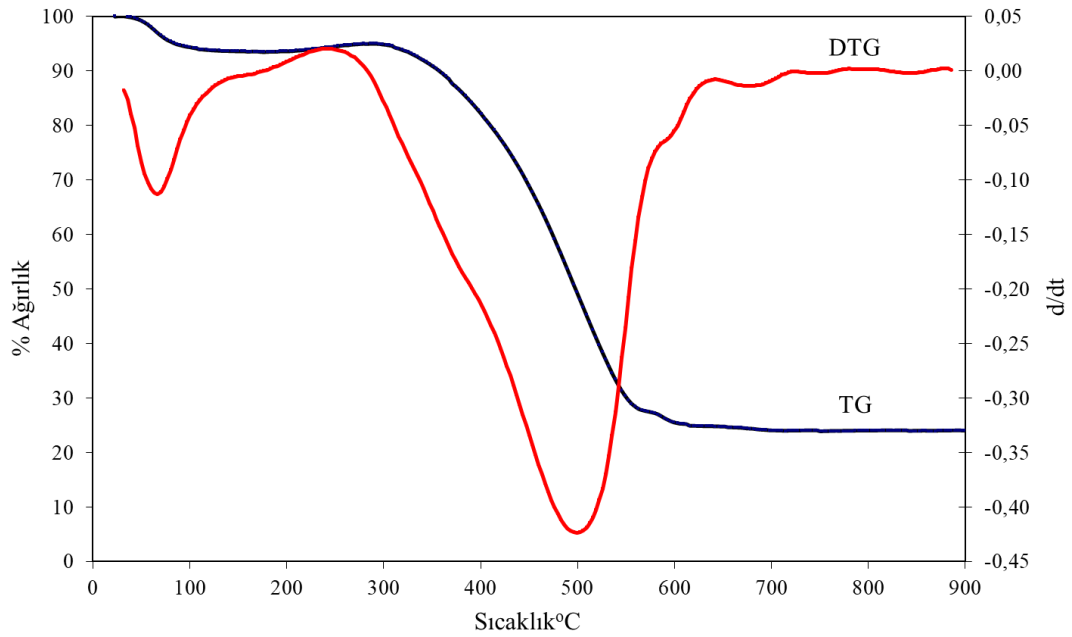
Aglomerasyon sonunda optimum şartlarda kazanılan aglomeratların kalori değerleri aşağıdaki tablodaki gibi artmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Aglomerasyon sonrası aglomeratların kalori değerleri

Yağ Cinsi	Kalori Değeri (kcal/kg)
Gaz yağı	5546.8
Madeni yağ	6109.7
Mazot	6020.5
Bitkisel atık yağ	6313.4

4.2. Mikrodalga Isıl Ön İşlemi Uygulanmış Kömürün Yağ Aglomerasyonu

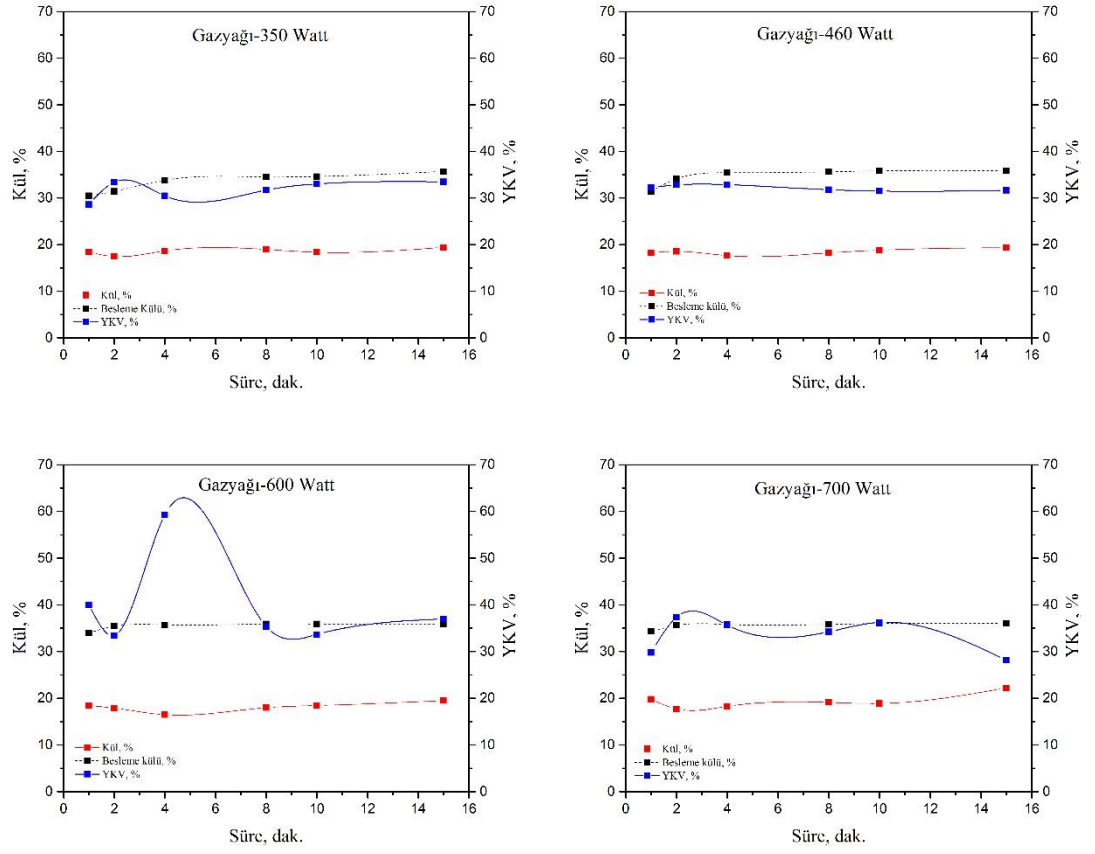
Çalışmanın bu bölümünde kömür numuneleri, mikrodalga ile ısıl ön işleme maruz bırakılmıştır. Mikrodalga uygulaması sonrasında numunenin sıcaklığı da ölçülmüştür. Numunenin, mikrodalga güç ve uygulama süresine bağlı olarak bir miktar kütle kaybına uğradığı tespit edilmiştir. Bu kayıp değerleri ölçülerek, kömürün TG eğrisi (Şekil 4.6) ile karşılaştırılmıştır. Dolayısıyla mikrodalga sonrası kömürün kül miktarları değişiklik göstermiştir. Yani, mikrodalga güç ve uygulama süresinin artması ile kömürün kül değerleri de artmıştır.



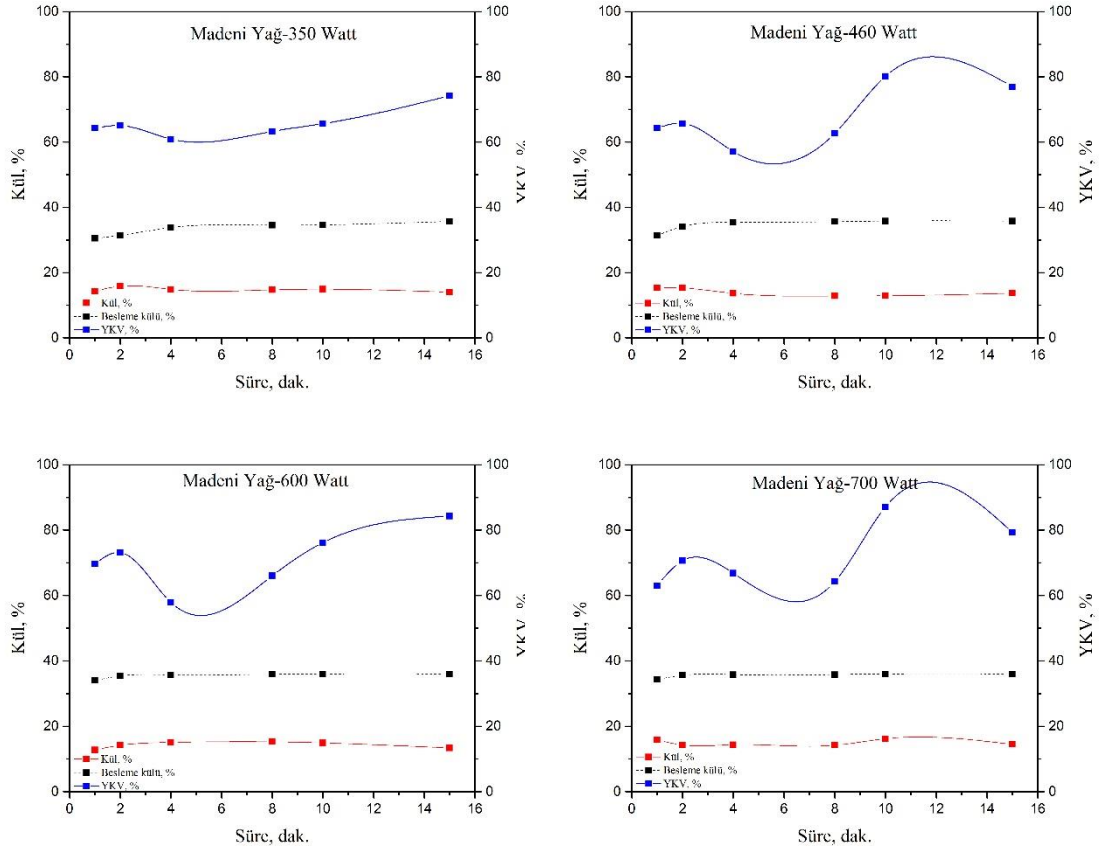
Şekil 4.6. Kömürün TG ve DTG eğrileri.

350 watt ve 1 dakikada kömür 53 °C sıcaklığa ulaşırken 700 watt 15 dakikada bu sıcaklık değerinin 230 °C'ye ulaşmaktadır. DTG eğrisinden kömürün neminin 70 °C'de uzaklaşmaya başladığı görülmektedir. Kömürün alifatik köprülerle bağlanmış, hidroaromatik ve aromatik bileşenlerden oluştuğu bilinmektedir (Howard, 1981; Solomon ve ark., 1992). Isıtıldığında, bir miktar piroliz suyu (300-350 ° C) kömür bünyesinden uzaklaşırken (Solomon ve ark., 1990), 350 ° C'de karbondioksit ve hidrojen çıkışına bağlı olarak birincil karbonizasyon başlamaktadır. Reaksiyonun en sonunda, metan ve diğer düşük alifatikler ile birlikte hidrojen, karbon monoksit ve alkil aromatikler açığa çıkmaktadır (Ozbas ve ark., 1998). Isıtma ile kömürde gözlenen fiziksel, kimyasal ve termal değişiklikler, doğrudan kömürün bileşenleri ile ilgilidir.

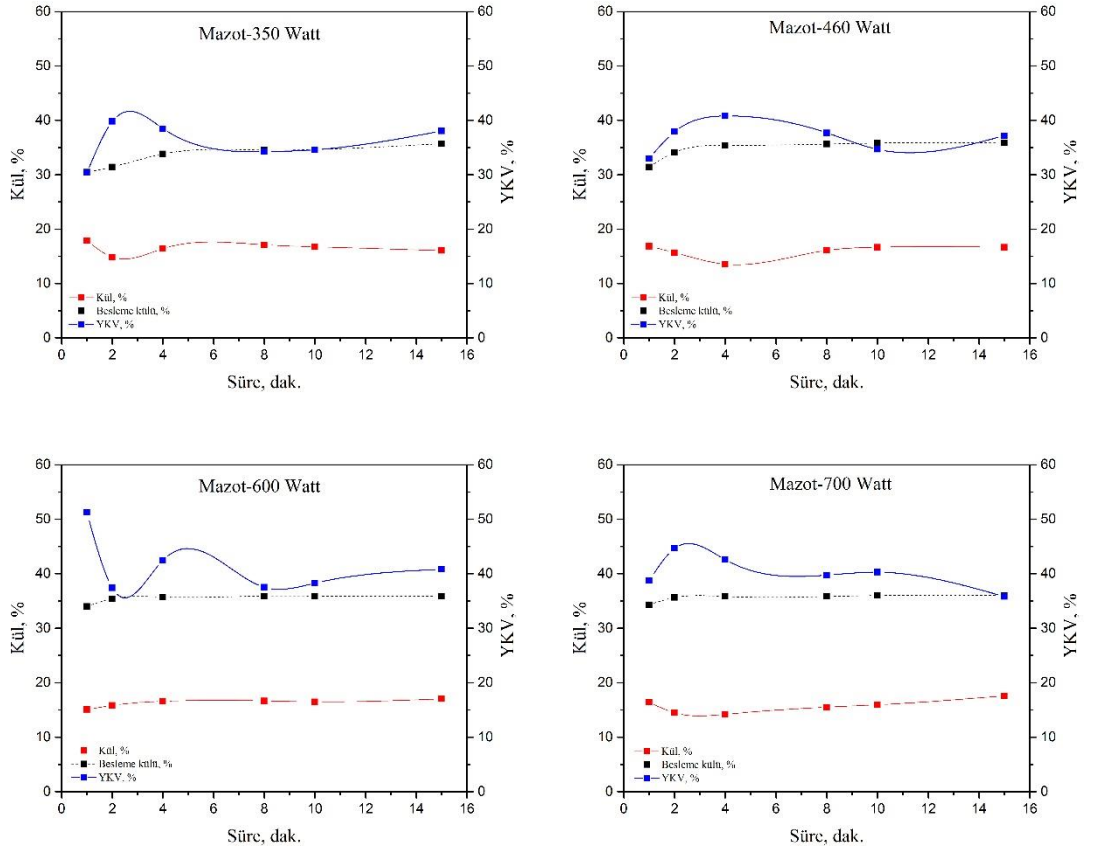
Farklı mikrodalga güçlerinde (350, 460, 600 ve 700 watt) ve sürelerinde (1,2,4,8,10 ve 15 dakika) ısıl ön işleme tabii tutulan kömürler üzerinde, bir önceki bölümde bulguları verilen optimum parametrelerde yeniden yağ aglomerasyonu testleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.7-10'da verilmiştir. mikrodalga uygulaması sonrası kömürün kül değerlerindeki belirgin artış tüm grafiklerde göze çarpmaktadır.



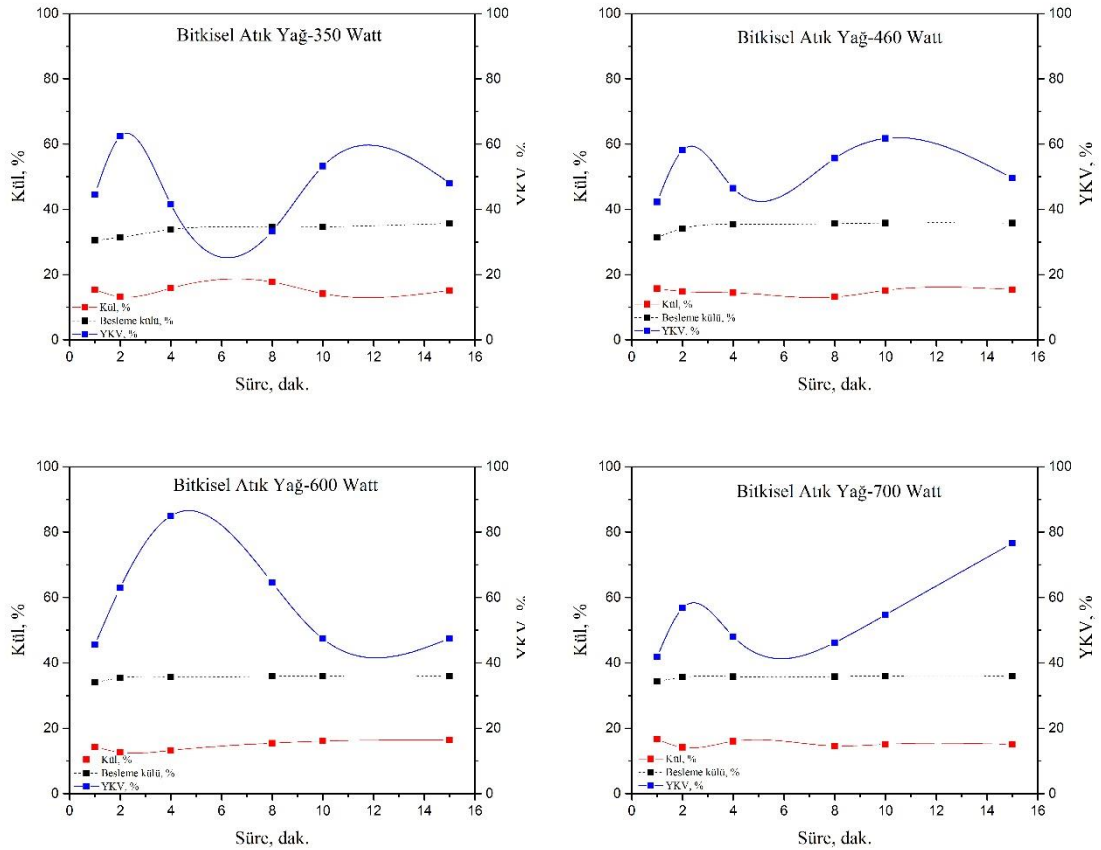
Şekil 4.7. Farklı güç seviyeleri ve farklı uygulama sürelerinde mikrodalga ön uygulamasının gazyağı ile yağ aglomerasyonuna etkisi.



Şekil 4.8. Farklı güç seviyeleri ve farklı uygulama sürelerinde mikrodalga ön uygulamasının madeni yağ ile yağ aglomerasyonuna etkisi.

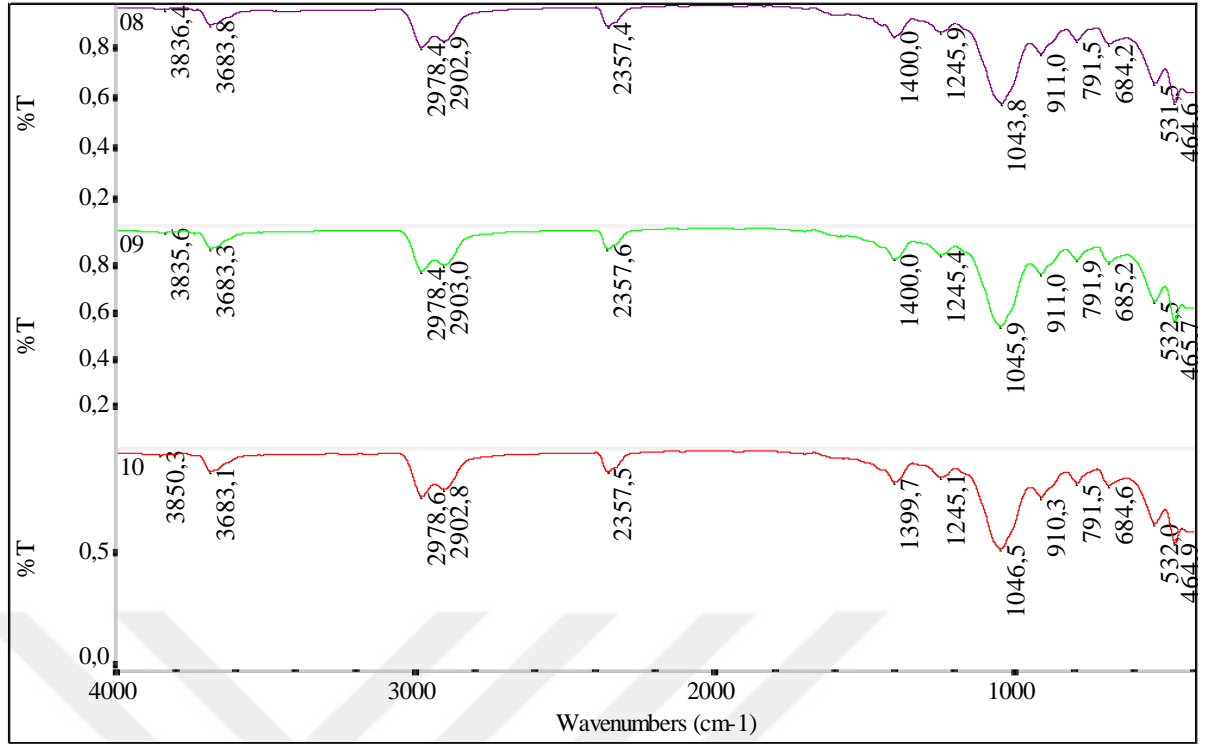


Şekil 4.9. Farklı güç seviyeleri ve farklı uygulama sürelerinde mikrodalga ön uygulamasının mazot ile yağ aglomerasyonuna etkisi.



Şekil 4.10. Farklı güç seviyeleri ve farklı uygulama sürelerinde mikrodalga ön uygulamasının bitkisel atık yağ ile yağ aglomerasyonuna etkisi.

Kömürün bileşenlerine mikrodalga etkisinin anlaşılabilmesi için FTIR spektrumları çekilmiş ve Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekil 4.11’de tüvenan kömür, 460 Watt gücünde 10 dakika ve 600 Watt gücünde 4 dakika mikrodalga uygulaması sonrası spektrumlar görülmektedir. FTIR spektrumunda $3850-3683\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki dalga boyundaki pikler sudaki hidroksil gruplarının veya fenolik bileşiklere bağlı olarak meydana gelen $-OH$ gerilme pikleridir ve bu pikler mineral kaynaklıdır (Huai ve ark., 1994). $2978-2903\text{ cm}^{-1}$ değerindeki $-CH_x$ titreşim bandı, kömürün yapısındaki hidrokarbon türlerine bağlı olarak ortaya çıkmakta ve alifatik yapıyı ifade etmektedir. 2357 cm^{-1} frekansındaki piklerin ise kükürtlü bileşiklere aittir (sülfonik asit) (Gülen ve ark., 2012). $1400-1245\text{ cm}^{-1}$ pikleri ise $C=C$ ve $C=O$ karbonil gerilmeleri ile $COO-$ /aromatik halkaları göstermektedir. 1044 cm^{-1} frekansında görülen pik ise $Si-O-Al/Fe/Mg$ kaynaklı $C-O$ titreşim bandıdır. $911-684\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki pikler $C-H$ titreşim bantlarıdır ve bu bantlar kömür içerisinde bulunan mineral madde içeriğine bağlanabilir. $532-465\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki pikler ise $Al-O$ ve $Si-O$ formasyonuna ait piklerdir.



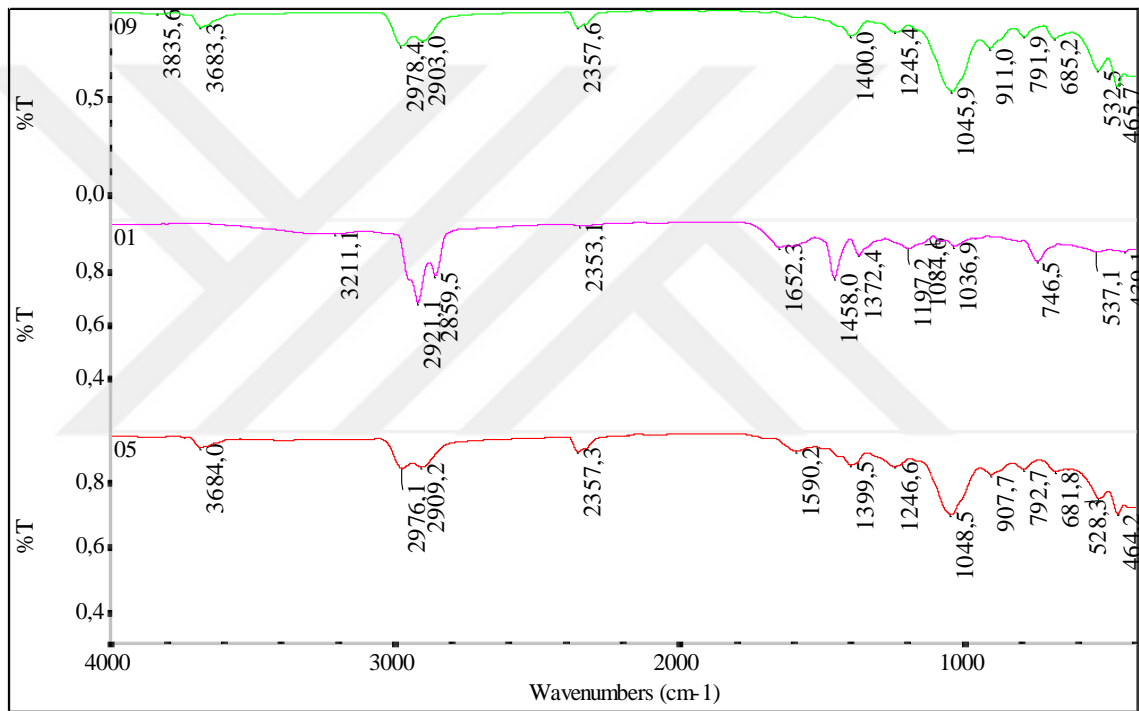
Şekil 4.11. Kömürün mikrodalga öncesi ve sonrası FTIR spektrumları (08:Mikrodalga uygulanmamış kömür, 09: 600 Watt gücünde 4 dakika mikrodalga uygulanmış kömür, 10: 460 Watt gücünde 10 dakakika mikrodalga uygulanmış kömür).

Spektrumlar incelendiğinde $1043.8-1046.5 \text{ cm}^{-1}$ frekans aralığında değişen Si-O-Al/Fe/Mg kaynaklı C-O titreşim bantlarının piklerinin şiddetinde farklılık olduğu görülmektedir (Aksoğan Korkmaz ve Bentli, 2018; Elbeyli ve Pişkin, 2006; Zhang ve ark., 2015).

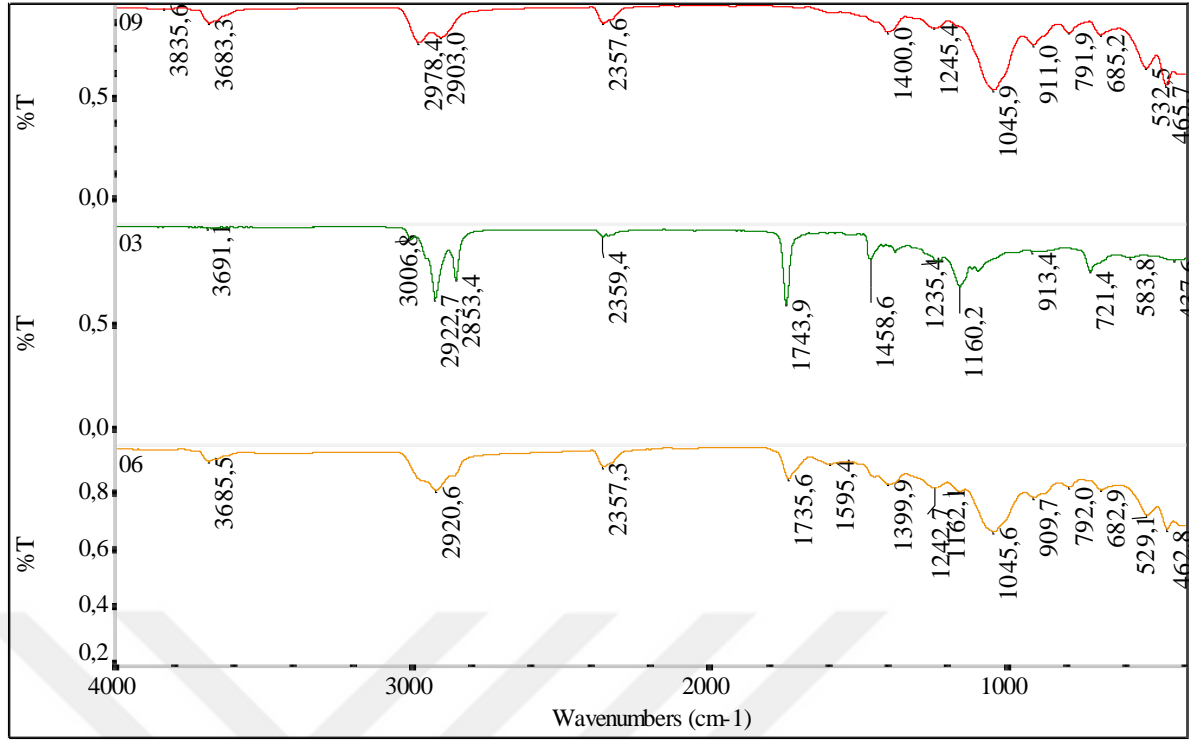
Mikrodalga uygulanmış kömürün piklerinin şiddeti daha fazladır. Bu pikler mineral madde içeriğini belirttiğinden kömürün mikrodalga uygulaması sonrası mineral madde içeriği yüzdesindeki artışı ifade etmektedir.

Mikrodalğanın kömür yüzeylerinin hidrofobitesine ve yağın bu yüzeylere adsorbsiyonunun anlaşılması için yağ aglomerasyonu sonrası elde edilen aglomeratların spektrumları çekilmiştir. Şekil 4.12’de 600 watt gücünde 4 dakika mikrodalga uygulanmış kömür, bu kömürden gaz yağı ile elde edilen aglomeratlar ve gaz yağının spektrumları görülmektedir. Gaz yağı ile elde edilen aglomeratların spektrumlarında 1590 cm^{-1} de görülen pikin, kömür yüzeyine adsorbe olan gazyağından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü gazyağının spektrumundaki $1652-1458 \text{ cm}^{-1}$ aralığında C-H eğilme titreşimleri göze çarpmaktadır. 600 watt gücünde 4 dakika mikrodalga uygulama sonrasında kömürün gazyağı ile

aglomerasyonundan %16.5 (besleme külü %35.7) kül içerikli aglomeratlar, %59.2 YKV (en yüksek) ile elde edilmiştir. Yine aynı güç ve mikrodalga uygulama süresinde bitkisel atık yağ ile % 85 YKV ile elde edilen aglomeratların kül içeriği %13.2 olmuştur. Benzer şekilde bitkisel atık yağ ile elde edilen aglomeratların FTIR spektrumları, 600 watt gücünde 4 dakika mikrodalga uygulanmış kömür ile birlikte Şekil 4.13'te verilmiştir. Bitkisel atık yağ ile aglomerasyonu sonrasında kömürün 1735.6 cm^{-1} de verdiği pik, bitkisel atık yağın kömür yüzeylerine güçlü adsorpsiyonu neticesinde karbonil grupların varlığından kaynaklanan C=C gruplarının etkisiyle oluşmuştur. $1595-1400 \text{ cm}^{-1}$ arası pikler ise bitkisel atık yağdan kaynaklanan C=C, COO-, alifatik C-H titreşimleridir.



Şekil 4.12. Kömürün mikrodalga öncesi ve sonrası, gaz yağı ile FTIR spektrumları (09: 600 Watt gücünde 4 dakika mikrodalga uygulanmış kömür, 01: Gaz yağı, 05:600 Watt gücünde 4 dakika mikrodalga uygulanmış kömürün gaz yağıyla aglomerasyonu sonucu elde edilen aglomeratlar).



Şekil 4.13. Kömürün mikrodalga öncesi ve sonrası, bitkisel atık yağ ile FTIR spektrumları (09: 600 Watt gücünde 4 dakika mikrodalga uygulanmış kömür, 03: Bitkisel atık yağ, 06:600 Watt gücünde 4 dakika mikrodalga uygulanmış kömürün bitkisel atık yağ ile aglomerasyonu sonucu elde edilen aglomeratlar).

Bitkisel atık yağ yüksek viskozitesi ve gazyağına göre daha yüksek polariteye sahip olmasından dolayı yağ aglomerasyonunda daha başarılı olmuştur. Yağın bu yüksek polaritesi, FTIR spektrumlarında açıkça görülmektedir. Özellikle karboksil gruplarının karbonil bileşenleri bitkisel atık yağın polarizitesini dolayısıyla hidrofobitesini arttırmakta olup bunun neticesinde yağ aglomerasyonunda daha başarılı sonuçlar elde edilmesine neden olmuştur. Majör hidrofobik alifatik gruplar C-H ($1417-1654\text{ cm}^{-1}$) ve karbonil gruplar (1744 cm^{-1}) da gözlenmiştir.

Bilindiği gibi linyit gibi düşük dereceli kömürler, oksijen fonksiyonel gruplarının varlığı ve yüksek nem içeriği nedeniyle hidrofiliktir ve bu nedenle flotasyon ve aglomerasyon verimleri düşüktür. Özbayoğlu ve arkadaşları (2009) mikrodalgada ile kurutulmuş numunelerin FTIR analizinde -OH ve -COOH gibi fonksiyonel grubun miktarında çok az değişiklik olduğunu belirtmiş olmalarına karşın Xia ve arkadaşları (2013), mikrodalga uygulaması sonrasında bu fonksiyonel grupların konsantrasyonunu azaldığını ve buna nemin giderilmesinin neden olduğunu belirtmişlerdir. Mikrodalga uygulaması ile özellikle aşırı ısıtma nedeniyle kömürün nemi uzaklaşmakla kalmayıp kütlesi de ısınmaktadır (Lester ve Kingman, 2004).

Dolayısıyla kömürün yapısının değişmesi olasıdır. Bu nedenle özellikle düşük karbonlu kömür olan linyit kömürünün oksijen fonksiyonelliğinden dolayı düşük sıcaklıktaki termal modifikasyona karşı daha duyarlı olduğu ve mikrodalga uygulaması ile yapısının kısmen değişime uğramaktadır. Miknis ve arkadaşları (1996) birkaç dakika boyunca 300 ve 600 watt'lık mikrodalgada kurutulmuş alt bitümlü kömürün aromatikliğinde çok az bir değişim olduğunu belirtmelerine karşın Tahmasebi ve arkadaşları (2011) mikrodalga uygulamasının Çin kömürlerinin oksijen içeren fonksiyonel grupların konsantrasyonunda belirgin bir azalmayla birlikte alifatik hidrojenle hafif bir düşüşe yol açtığını ifade etmişlerdir. Linyitlerin yapısında büyük ölçüde karboksilik asit, aldehitler ve alkoller (-COOH, -OH, gibi) gibi fonksiyonel oksijen grupları bulunduğu dikkate alındığında ve bu yapıların mikrodalga enerjisini adsorbe etme kabiliyetini arttırdığı (Binner ve ark., 2014) dolayısıyla kömürün yapısının mikrodalga uygulaması ile kısmen değişime uğradığı ve dolayısıyla aglomerasyon başarısının azaldığı düşünülebilir. Benzer şekilde Malik ve arkadaşları (2002), Assam kömürünün sülfür içeriğini azaltmak için yaptıkları çalışmada, bakteri liçi öncesinde kömürün mikrodalga ile muamelesinin sülfür gideriminde herhangi bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında kömürün yağ aglomerasyonuna mikrodalga ısı ön işleminin etkisi incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tunçbilek linyit kömürünün nemi %9.3 (havada kuru), ısı değeri 4730 kcal/kg ve kül içeriği %29.42'dir. 106 μm 'nin altına öğütülen numunenin d_{80} değeri 73 μm 'dir.

Gazyağı, mazot, madeni yağ ve atık yağ ile kazanılan en iyi aglomeratlar için uygun pH değerleri sırasıyla 5.1, 5.4, 7 ve 7 olurken en düşük kül içerikli aglomeratlar, bitkisel atık yağ ile elde edilmiştir.

Yağ konsantrasyonunun artmasıyla kazanılan aglomeratların kül içerikleri azalırken YKV değerleri de artmıştır.

Karıştırma hızının artmasıyla kazanılan aglomeratların kül içerikleri azalmış ve buna bağlı olarak YKV değerleri artmıştır. Ancak yüksek karıştırma hızları ile madeni yağ ve bitkisel atık yağın kullanıldığı deneylerden kazanılan aglomeratların kül içeriklerinde bir artış olmuştur.

Aglomerasyon süresinin artması ile kazanılan aglomeratların kül içeriklerinde belirgin bir değişim olmamıştır.

Aglomerasyon deneyleri sonrasında optimum değerlerde kazanılan aglomeratların kalorifik değerlerinde belirgin bir artış olmuştur. En yüksek kalorifik değerli aglomeratlar atık yağ ile elde edilmiştir (gaz yağı ile 5546.8 kcal/kg; madeni yağ ile 6109.7 kcal/kg, mazot ile 6020.5 kcal/kg ve atık yağ ile 6313.4 kcal/kg).

Mikrodalga uygulaması neticesinde numunede bir miktar kütle kaybı gerçekleşmiş ve beraberinde kömürün kül içeriğinde artış olmuştur. Bu değişim kömürün FTIR spektrumlarında 1043.8-1046.5 cm^{-1} frekans aralığında (Si-O-Al/Fe/Mg kaynaklı C-O titreşim bantlarının piklerinin şiddetinde) belirgin olmuştur. Mikrodalga uygulanmış kömürün yüzeylerine yağ adsorpsiyonu ile yüzeylerin hidrofobitesisi artmış ve bu durum gazyağı varlığında, C-H eğilme titreşimlerinde belirgin olmuştur. Bitkisel atık yağın karbonil gruplarının etkisiyle C=C yapısının etkisi artmış ve C=C, COO-, alifatik C-H titreşimleri 1595-1400 cm^{-1} arası piklerde belirgin olarak ortaya çıkmıştır.

600 watt gücünde 4 dakika mikrodalga uygulama sonrasında kömürün gazyağı ile aglomerasyonundan %16.5 (besleme külü %35.7) kül içerikli

aglomeratlar, %59.2 YKV (en yüksek) ile elde edilirken bitkisel atık yağ ile % 85 YKV ile elde edilen aglomeratların kül içeriği %13.2 olmuştur.



6. KAYNAKLAR

- Aksoğan Korkmaz, A. ve Bentli, İ., 2018, Elbistan linyitlerinin ağır-ortam yöntemi ile yıkanabilirlik indekslerinin belirlenmesi, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(4), 295-304.
- Aslan, N. and Ünal, İ., 2011, Multi-response optimization of oil agglomeration with multiple performance characteristics. *Fuel Processing Technology*, 92 (6), 1157–1163.
- ASTM, 1981, Annual Book of ASTM Standards, *American Society for Testing Materials*, Philadelphia.
- ASTM D 3173–03, 2010, Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke, 3.
- ASTM D 3174–04, 2010, Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal, 5.
- ASTM D 5865–10a, 2010, Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke, 14.
- Atak, S., 1982, Flotasyon ilkeleri ve uygulaması, *İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi*, İstanbul, 209-212.
- Atak, S., 1990, Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması, *İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı Yayını*, Kitap No: 34, İstanbul.
- Berkowitz, N., 1997, Fossil Hydrocarbons: Chemistry and Technology. *Elsevier Science and Technology*, 1st ed., 351.
- Binner, E., Lester, E., Kingman, S., Dodds, C., Robinson, J., Wu, T., Wardle, P. and Mathews, J.P.A., 2014, Review of Microwave Coal Processing, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 48 (1), 35-60.
- BP, 2018, BP Statistical Review of World Energy, BP, 67th ed., 7-50.
- Can, N. M. and Bayraktar, I., 2007, Effect of microwavetreatment on the flotation and magnetic separation properties of pyrite, chalcopyrite, galena and sphalerite. *Minerals and Metallurgical Processing*, 24(3), 185-192.
- Capes, C. and Germain, R., 1982, Selective oil agglomeration in fine coal beneficiation. In Physical cleaning of coal, *Marcel Decker, (Y.A. Liu, ed.)*, New York, 293–351.
- Cebeci, Y. and Eroğlu, N., 1998, Determination of bridging liquid type in oil agglomeration of lignites, *Fuel*, 77(5), 419-424.
- Cebeci, Y., Ulusoy U. and Şimşek, S., 2002, Investigation of the effect of agglomeration time, pH and various Salts on the cleaning of Zonguldak bituminous coal by oil agglomeration, *Fuel*, 81 (9), 1131-1137.
- Cebeci, Y. and Sönmez, İ., 2006, Application of the Box-Wilson experimental design method for the spherical oil agglomeration of coal. *Fuel*, 85 (3), 289–297.
- Chary, G. H. V. C. and Dastidar, M. G., 2012, Investigation of optimum conditions in coal–oil agglomeration using Taguchi experimental design, *Fuel*, 98, 259–264.
- Chatterjee, I. and Misra, M., 1990, Dielectric properties of various ranks of coal. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 25 (4), 224-229.

- Clark, D. E., Folz, D. C. and West, J. K., 2000, Processing materials with microwave energy, *Mater.Sci.Eng. A.*, 287, 153-158.
- Decareau, R. V., 1985, Microwaves in the food processing industry, *Academic Pres*, Orlando Ma. USA.
- Düzyol, S., Şensöğüt, C., Aksu, A. Ö., Erişir H. S. ve Aspir, K., 2014, Tunçbilek linyit kömürünün yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesi. *Türkiye 19. Kömür Kongresi*, M.E. Bilir, K. Kel & E. Kaymakci (eds), 237-244.
- Düzyol, S. and Şensöğüt, C., 2014, Investigation of the oil agglomeration of Eskiçeltek lignites in Turkey, *14th International Scientific Conference of Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection*, –SGEM 2014, 3, 889-896.
- Düzyol, S., 2015, Investigation of oil agglomeration behaviour of Tunçbilek clean coal and separation of artificial mixture of coal–clay by oil agglomeration, *Powder Technology*. 274, 1–4.
- Dzinomwa, G. P. T., Wood, C. J. and Hill, D. J. T., 1997, Fine coal dewatering using ph and temperature - sensitive super - absorbent polymers, *Polm. Adv.Technol.*, 8, 767-772.
- Ediger, V. Ş., 2014, TKİ ve kömürün tarihçesi ile Türkiye kömür stratejileri, *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Yayınları*, Ankara, 497.
- EİGM, 2014, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Mayıs 2014 İstatistikleri.
- EİGM, 2018, EİGM Denge Tabloları. 2017 Yılı Sonu Denge Tablosu. [online], Ankara, <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları> [Ziyaret tarihi: 10 Haziran 2019].
- Elbeyli, İ. Y. and Pişkin, S., 2006, Combustion and pyrolysis characteristics of Tunçbilek lignite, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 83, 721-726.
- ETKB, 2019a, Kömür. [online], Ankara, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur> [Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2019].
- ETKB, 2019b, Kömür nedir? [online], Ankara, <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSayfalar%2fK%C3%B6m%C3%BCr+Nedir-.pdf> [Ziyaret tarihi: 17 Mayıs 2019].
- Fanslow, G. E., Bluhm, D. D. and Nelson, S. O., 1980, Dielectric heating of mixtures containing coal and pyrite, *Journal of Microwave Power*, 15(3), 187-190.
- Garga, A., Lama, J. S. L. and Pandac, B. N., 2017, A hybrid computational intelligence framework in modelling of coal-oil agglomeration phenomenon, *Applied Soft Computing*. 55, 402–412.
- Gence, N. 2006, Coal recovery from bituminous coal by agglototation with petroleum oils. *Fuel*, 85, 1138–1142.
- Google Earth, 2019, <https://earth.google.com/web/search/Garp+linyit+işletmeleri,+Tunçbilek+Belediyesi%2fTavşanlı%2fKütahya,+Türkiye/@39.54380503,29.48643499,839.24579971a,17930.42782672d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCc1ZTIxHCTRAEctZTIxHCTTAGfFeW8CQwztAlbCbHxG2a1LA> [Ziyaret tarihi: 22 Mayıs 2019].
- Guo, L., Zhai, M., Wang, Z., Zhang, Y. and Dong, P., 2018, Comprehensive coal quality index for evaluation of coal agglomeration Characteristics, *Fuel*, 231, 379–386.
- Guy, D. W., Crawford, R. J. and Mainwaring, D. E., 1996, The wetting behaviour of several organic liquids in water on coal surfaces. *Fuel*, 75, 238–242.

- Gülen, J., Toprak, S. ve Pişkin, S., 2012, Batı Türkiye kömürlerine ait bazı karakteristik özellikler, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi / Karaelmas Science and Engineering Journal* 2(1), 27-33.
- Gürses, A., Doymuş, K., Bayrakçeken, S., 1997, Evaluation of response of brown coal to selective oil agglomeration by zeta potential measurements of the agglomerates. *Fuel*, 76(15-16), 1439-1444.
- Hacifazlıoğlu, H., 2015, Tüvenan Kömür Zenginleştirme Yöntemleri, Kömür Hazırlama Ders Notları, *İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*.
- Haque, K. E., 1999, Microwave energy for mineral treatment processes-a brief review, *International Journal of Mineral Processing*, 57, 1-24.
- Howard, J. B., 1981, Fundamentals of coal pyrolysis and hydrolyrolysis, in *Chemistry of coal utilization*, M. A. Elliott, Ed., Wiley-Interscience, Toronto, Canada,
- Huai, H., Gaines, A. F. and Scott, A. C., 1994, Introduction to the petrology and infrared spectra of Shanxi coals, People's Republic of China, *Fuel*, 73(8), 1322-1330.
- Huang, J., Xu, G., Hu, G., Kizil, M. and Chen, Z., 2018, A coupled electromagnetic irradiation, heat and mass transfer model for microwave heating and its numerical simulation on coal, *Fuel Processing Technology*, 177, 237-245.
- Hunt, J. M., 1996, Petroleum Geochemistry and Geology, (2nd ed.). W.H. Freeman and Company, New York, 743.
- ICCP, 1994a, International Handbook of Coal Petrology, *Int. Committee for Coal Petrology*.
- ICCP, 1994b, The New Vitrinite Classification (ICCP System 1994), *Fuel*, 77, 5, 349-358, 1998.
- ICCP, 1994c, The New Inertinite Classification (ICCP System 1994), *Fuel*, 80, 459-471, 2001.
- ICCP, 2001, International Handbook of Coal Petrology, *Int. Committee for Coal Petrology*.
- IEA, 2016, Coal Information, 2015.
- IEA, 2018a, Coal Information, 2017.
- IEA, 2018b, World Energy Outlook, 2017.
- Kadioğlu, S. ve Telliöü, Z., 1996, Enerji kaynaklarının kullanımı ve çevreye etkileri. TMMOB, *Türkiye Enerji Sempozyumu*, Tebliğler, 55-67.
- Kappe O., Dallinger D. and Murphree S., 2009, Practical Microwave Synthesis for Organic Chemists, Wiley-VCH, Weinham.
- Kemal, M., 1991, Linyit kömürü değerlendirilmesi ve kullanımında kömür özelliklerinin etkileri, Ed; Önal, G., ve Ateşok, G., *Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri*, YMGV, 270-282.
- Kılınç Aksay, E., Arslan, V. ve Polat, H., 2010, Toz kömürlerin zenginleştirilmesinde yağ aglomerasyonu yöntemi ve yenilikler, *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 23 (2), 97-108.
- Killops, V. J., 2005, Introduction to organic geochemistry. *Blackwell Publishing, Second Edition*, 393.
- Kingman, S.W., Vorster, W. and Rowson, N.A., 2000, The influence of mineralogy on microwave assisted grinding, *Minerals Engineering*, 13(3), 313-327.
- Kingston H. M. and Jassie, L. B., 1985, Introduction to Microwave Sample Preparation-Theory and Practise, Chapters 2 and 3, *ACS Professional Reference Book*, Am.Chem.Soc.

- Kural, O., 1991, Kömür, Kurtiş Matbaası, İstanbul.
- Kumar, S., Chary, G. H. V. C. and Dastidar, M. G., 2015, Optimization studies on coal–oil agglomeration using Taguchi (L16) experimental design, *Fuel*, 141, 9–16.
- Laskowski, J. S., 1992, Oil Assisted Fine Particle Processing, *Colloid Chemistry in Mineral Processing*, Laskowski, J.S., Raltson, J. (eds), *Elsevier*, New York, 361-394.
- Laskowski, J. S. and Yu, Z. M., 2000, Oil agglomeration and its effect on beneficiation and filtration of Low-Rank/Oxidized coals, *International Journal of Mineral Processing*, 58, 237-252.
- Leong, Y. K. and Boger, D. V., 1990, Surface chemistry effects on concentrated suspension rheology. *Journal of Colloid and Interface Science*, 136, 249–258.
- Lester E. and Kingman S., 2004, The effect of microwave pre-heating on five different coals, *Fuel*, 83 (14-15 SPEC. ISS.), 1941-1947.
- Malik, A., Dastidar, M. G., Roychoudhury and P. K., 2002, Effect of pretreatment on pyritic sulphur reduction from coal, *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection* 2(3), 264-276.
- Marland S., Merchant A. and Rowson N., 2001, Dielectric properties of coal, *Fuel*, 80 (13), 1839-1849.
- Meshram, P., Purohit, B. K., Sinha, M. K., Sahu, S. K. and Pandey B.D., 2015, Demineralization of low grade coal – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 745-761.
- Metaxas A. C. and Meredith R. J., 1983, *Industrial microwave heating*, The Institution of Electrical Engineers, London.
- MİGEM, 2012, Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Miknis F. P., Netzel D. A., Turner T. F., Wallace J. C. and Butcher C. H., 1996, Effect of different drying methods on coal structure and reactivity towards liquefaction. *Energy and Fuels*, 10, 631-640.
- Mingos D. M. P. and Baghurst D. R., 1991, Applications of microwave dielectric heating effects to synthetic problems in chemistry, *Chemical Society Reviews*, 20, 1-47.
- MTA, 2018a, Kömür arama araştırmaları. [online], Ankara, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/araştirmalar/komur-arama-araştirmalari> [Ziyaret tarihi: 06 Mart 2019].
- MTA, 2018b, Türkiye yeraltı kaynakları. [online], Ankara, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/muze/yeralti-kaynaklari> [Ziyaret tarihi: 06 Haziran 2019].
- Netten, K. V., Atanasio, R. M. and Galvin, K. P., 2016, Selective agglomeration of fine coal using a water-in-oil emulsion, *Chemical Engineering Research And Design*, 110, 54–61.
- Orumwense, A. O. and Negeri, T., 2003, The impact of microwave irradiation on the processing of a sulphide ore, *SME Annual Meeting* Feb, Cincinnati, Ohio, 24-26.
- Ozbas, K. E., Bilgen, S., Hicyilmaz, C., Kok, M. V., 1998, Thermogravimetric behaviour of some Turkish lignites of different sizes, *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, 32 (149).
- Özbayoğlu, G. and Depci T., 2006, Improvement of coal grindability by microwave pretreatment, *XXIII International Mineral Processing Congress*, İstanbul/Turkey.
- Özbayoğlu G., Depci T. and Ataman N., 2009, Effect of microwave radiation on coal flotation, *Energy Sources*, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 31 (6), 492-499.

- Peng, Z., Lin, X., Li, Z., Hwang, J. Y., Kim, B. G., Zhang, Y., Li, G. and Jiang, T., 2017, Dielectric characterization of Indonesian low-rank coal for microwave processing, *Fuel Processing Technology*, 156, 171–177.
- Polat, M., Polat, H. and Chander, S., 2003, Physical and chemical interactions in coal flotation, *International Journal of Mineral Processing*, 72, 199–213.
- Querol, X., Fernandez Turiel, J. L., Lopez Soler, A., Haegmann, H. W., Dehmer, J., Juan, R., and Ruiz, C., 1991, Distribution of sulphur in coals of the Teruel Mining District, Spain. *Int. Journal of Coal Geology*, 18, 327-346.
- Ratanakandilok, S. and Ngamprasertsith, S., 2001, Coal desulfurization with methanol/water and methanol/KOH. *Fuel*, 80, 1937-1942.
- Sadowski, Z., 1994, Fundamental aspects of spherical agglomeration of salt-type minerals, *In Proceedings of the 5th International Mineral Processing Symposium*, Demirel, H., Ersayın, S. (eds), Kapadokya, Türkiye, 433-437.
- Schiffmann, R. F., 1995, Commercializing microwave systems: Path to Success or Failure. *Microwaves: Theory and Application in Material Processing*, 111. In: Clark, D.E., Folz, D.C., Oda, S.J., Silbergliet, R. (eds.), *Ceramic Transc.*, 59.
- Schuyler J. and Van Krevelen D. W., 1955, Chemical structure and properties of coal IX - Semiconductivity of high rank coals, *Fuel*, 34 (213-8), 213-218.
- Schopf, J. M., 1956, A definition of Coal. *Economic Geology*, 51, 521-527.
- Shukla, D. and Venugopal, R., 2019, Optimization of the process parameters for fine coal–oil agglomeration process using waste mustard oil, *Powder Technology*, 346, 316-325.
- Simmons, F. J. and Keller, D. V., 1986, Two ton-per-day production of Otisca T-Process ultra-clean coal/water slurry, 10th. *Intern. Coal Preparation Congress*, 1, 1-9.
- Singh, S., Neculaes, V. B., Lissianski, V., Rizeq, G., Bulumulla, S. B., Subia, R. and Manke, J., 2015, Microwave assisted coal conversion, *Fuel*, 140, 495–501.
- Solomon, P. R., Serio, M. A., Carangelo, R. M., 1990, Analysis of the argonne premium coal samples by thermogravimetric fourier transform infrared spectroscopy, *Energy & Fuels*, 4 (3),319–333.
- Solomon, P. R., Serio, M. A. and Suuberg, E. M., 1992, Coal pyrolysis: Experiments, kinetic rates and mechanisms, *Progress in Energy and Combustion Science*, 18 (2), 133–220.
- Somasundaran, P., 1980, Principles of flocculation, dispersion and selective flocculation, *In Fine Processing*, Somasundaran, P. (ed), AIME, New York, 947-975.
- Spoelstra, J., 1989, The modelling of oil agglomeration of coal fines, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 28, 359-366.
- Stach, E., Mackowsky, M. T., Teichmüller, M., Taylor, G. H., Chandra, D. and Teichmüller, R., 1982, Stach's textbook of coal petrology. 3rd edi., *Gebrüder Borntraeger*, Berlin and Stuttgart, 535.
- Standish, N. and Worner, H., 1991, Microwave reduction of iron ores, *Iron and Steelmaking*, 18 (5), 59-61.
- Suarez-Ruiz, I. and Crelling, J. C., 2008, Applied coal petrology: The role of petrology in coal utilization. *Academic press Inc.*, London, 388.
- Şahbudak, K., 1998, Taşkömürün yağ aglomerasyonu zenginleştirilmesinde değişik ön işlemlerle yağ tüketiminin azaltılmasının incelenmesi, Yüksek lisans tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Sivas.

- Şahinoğlu, E. and Uslu, T., 2013, Use of ultrasonic emulsification in oil agglomeration for coal cleaning, *Fuel*, 113, 719–725.
- Şahinoğlu, E. and Uslu, T., 2014, Effect of particle size on cleaning of high-sulphur fine coal by oil agglomeration, *Fuel Processing Technology*, 128, 211–219.
- Şimşek, S., 1999, Taşkömürünün yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesinde bazı işletme parametrelerinin etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas.
- Tahmasebi, A., Yu, J., Li, X. and Meesri C., 2011, Experimental study on microwave drying of Chinese and Indonesian low-rank coals, *Fuel Processing Technology*, 92 (10), 1821-1829.
- Tissot, B. P. and Welte, D. H., 1978, Petroleum formation and occurrence. *Springer, Werlag*, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 358.
- Toraman, Ö. Y. ve Depçi, T., 2007, Kömürde mikrodalga ile önışlem uygulamaları, *Madencilik*, 46(3), 43-53.
- Toraman Ö. Y., 2012, Mikrodalga enerji kullanarak kömürden metalurjik kok eldesi, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1 (2), 25-29.
- TTK, 2018, TTK 2017 Yılı Sektör Raporu, Zonguldak, TTK.
- TTK, 2019, TTK 2018 Yılı Sektör Raporu, Zonguldak, TTK.
- Uslu, T., Şahinoğlu, E., Alp İ. ve Deveci, H., 2006, Müzret (Yusufeli-Artvin) bitümlü kömürünün gazyağı ile aglomerasyonu, *Türkiye 15. Kömür Kongresi*, Zonguldak.
- Ünalın, G., 2013, Kömür jeolojisi, İkinci baskı, Eğitim serisi-41, Ankara, 19-116.
- Van Krevelen, D. W., 1961, Coal: Typology-Chemistry-Physics-Constitution. *Elsevier*, Amsterdam, London, New York, Princeton, 514.
- Wojcik, W. and Al Taweel, A. M., 1984, Beneficiation of coal fines by aggregative flotation, *Powder Technology*, 40, 179-185.
- Xia, W., Yang, J., Liang, C., 2013, Effect of microwave pretreatment on oxidized coal flotation, *Powder Technology*, 233, 186-189.
- Yadav, A. M., Nikkama, S., Gajbhiye, P. and Tyeb, M. H., 2017, Modeling and optimization of coal oil agglomeration using response surface methodology and artificial neural network approaches, *International Journal of Mineral Processing*, 163, 55–63.
- Yaşar, O., Uslu, T. and Şahinoğlu, E., 2018, Fine coal recovery from washery tailings in Turkey by oil agglomeration, *Powder Technology*, 327, 29–42.
- Yenidiñ, E., 1988, Kozlu kömür damarlarının flotasyon özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.
- Yılmaz, H., 2010, Çatalağızı termik santralinde (Çates) kullanılan lavvar artıklarındaki kömürün kazanımında optimum flotasyon koşullarının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Yu, A. B., Standish, N. and Lu, L., 1995, Coal agglomeration and its effect on bulk density, *Powder Technology*, 82, 177-189.

Zhang, W., Jiang, S., Wang, K., Wang, L., Xu, Y., Wu, Z., Shao, H., Wang, Y. and Miao, M. 2015, Thermogravimetric dynamics and FTIR analysis on oxidation properties of low-rank coal at low and moderate Temperatures, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 35, 39-50.

Zhang, B., Zhu, G., Sun, Z., Yan, G. and Yao, H., 2018, Fine coal desulfurization and modeling based on high-gradient magnetic separation by microwave energy, *Fuel*, 217, 434–443.



7. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Kübra İNAN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara/1992
Telefon : + (90) 533 263 51 44
e-mail : inankubra0@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Balgat Aliye Yahşi Anadolu Meslek Lisesi, Ankara	2010
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	2016
Yüksek Lisans:	Konya Teknik Üniversitesi	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016	Minerya Madencilik	Maden Mühendisi

YAYINLAR

İnan, K. ve Düzyol, S., 2019, Linyit Kömürünün Yağ Aglomerasyonuna Çeşitli Yağların Etkisinin Araştırılması, II. International Science and Academic Congress (INSAC 2019), 261-269.