



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TUNÇBİLEK LAVVAR ARTIK
KÖMÜRLERİNİN YAĞ AGLOMERASYONU
YÖNTEMİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Güldane NACAĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Güldane NACAK tarafından hazırlanan “Tunçbilek Lavvar Artık Kömürlerinin Yağ Aglomerasyonu Yöntemi ile Zenginleştirilmesi” 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

Prof. Dr. Alper ÖZKAN

Danışman

Doç. Dr. Selma DÜZYOL

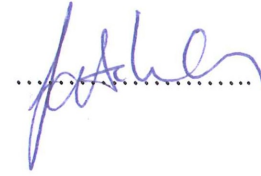
Üye

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fatih CAN

İmza


.....


.....


.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

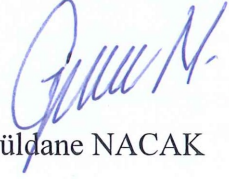
Prof. Dr. Yakup KARA
Enstitü Müdürü

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.



Güldane NACAĞ

Tarih: 28/06/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUNÇBİLEK LAVVAR ARTIK KÖMÜRLERİNİN YAĞ AGLOMERASYONU YÖNTEMİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Güldane NACAĞ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selma DÜZYOL

2019, 48 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Selma DÜZYOL

Prof. Dr. Alper ÖZKAN

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fatih CAN

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, iki farklı artık kömür numunesi üzerinde yağ aglomerasyonu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Artık kömür numuneleri, Tunçbilek/Kütahya bölgesinde faaliyet gösteren lavvar tesisinden elde edilmiştir. Tikiner artığı olan şlam ve artık havuzundan harmanlanarak alınan karışım kömür numunelerinin yağ aglomerasyonu deneyleri ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Deneylerde bağlayıcı yağ olarak gazyağı, mazot ve evsel atık kızartma yağı olmak üzere 3 farklı yağ kullanılmıştır. Yağ konsantrasyonu, pH, karıştırma hızı, aglomerasyon süresi gibi parametrelerin yağ aglomerasyonuna etkileri incelenmiştir. Ayrıca, dispersant olarak seçilen sodyum silikat ve buğday nişastasının bireysel ve sıralı ilavelerinin yağ aglomerasyonuna etkileri incelenmiştir.

Karışım numunesinden yüksek YKV değeri ile aglomerat eldesi, bağlayıcı yağ olarak mazot kullanılması ve dispersantların nişasta+sodyum silikat sırasıyla ilave edilmesiyle mümkün olmuştur. Düşük kül içerikli aglomerat eldesi ise atık yağ ile sodyum silikat+nişasta sıralı dispersant ilavesiyle sağlanabilir. Şlam numunesinden yüksek YKV ve düşük kül içerikli aglomerat eldesi atık yağın kullanılması ve nişasta+sodyum silikatın sıralı ilavesiyle mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Dispersant, Kömür, Kül, Şlam, Yağ Aglomerasyonu, Zenginleştirme

ABSTRACT

MS THESIS

THE ENRICHMENT OF TUNÇBİLEK WASHERY TEILINGS COALS BY OIL AGGLOMERATION METHOD

Güldane NACAĞ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MINING ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Selma DÜZYOL

2019, 48 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Selma DÜZYOL

Prof. Dr. Alper ÖZKAN

Assist. Prof. Dr. Muhammed Fatih CAN

In this master thesis, oil agglomeration experiments were performed on two different waste coal samples. The waste coal samples were obtained from the lavvar plant that was operating in Tunçbilek/Kütahya region. The oil agglomeration experiments of slime as the waste of thickener and of mixture sample that was taken and blended from the different waste pool were carried out separately. In the tests, 3 different oils were used as bridging oil such as kerosene, diesel oil and domestic waste oil. The effects of some parameters such as oil concentration, pH, stirring speed and agglomeration time on the oil agglomeration were investigated. In addition, the effects of the individual and sequential additions of dispersants in the order of sodium silicate and starch on the oil agglomeration were also examined.

It was possible to obtain agglomerate with high combustible recovery (CR) from the mixture sample by using the diesel oil as the bridging oil and the sequential addition of dispersants as to be starch+sodium silicate. To acquire of agglomerate from the slime with low ash content can be enabled by using domestic waste oil and the sequential addition of starch+sodium silicate.

Keywords: Oil Agglomeration, Ash, Enrichment, Coal, Dispersant, Slime,

ÖNSÖZ

Tez çalışmamızın her aşamasında bilgi ve birikimlerini ilmek ilmek büyük bir sabırla işleyerek engin tecrübelerinden yararlanmama olanak sunan, motivasyonu ve desteği ile her daim yanımda olan danışmanım Doç. Dr. Selma DÜZYOL hocama, çalışma süresince desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Doç. Dr. Tefik AĞAÇAYAK hocama, laboratuvar çalışmaları sırasında bütün destekleri için Lab. Teknikeri İbrahim KÜÇÜK abime, her koşulda büyük bir özveri ile beni en güzel şekilde yetiştiren, eğitim-öğretim hayatım boyunca güven ve maddi manevi desteklerini her zaman hissettiren babam İsmail ŞAHİN, annem Hatun ŞAHİN, canım kardeşim Ali ŞAHİN'e, en önemlisi benim bu yola girmemde büyük rol oynayan ve tez yazmam konusunda yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, her daim destekçim olan kıymetli eşim Arş. Gör. Çağatay NACAĞ'a sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Güldane NACAĞ
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Kömür Hakkında Genel Bilgiler	3
2.1.1. Kömürün tanımı	3
2.1.2. Kömürün tarihçesi.....	4
2.1.3. Kömürün oluşumu	5
2.1.4. Kömürün sınıflandırılması	5
2.1.5. Kömür türleri	6
2.1.6. Kömürün özellikleri	8
2.1.7. Dünya sektöründe kömür	9
2.1.8. Türkiye’de kömür sektörü	10
2.1.9. Kömür kullanım alanları	11
2.2. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme	12
2.2.1. Cevher hazırlama	12
2.2.2. Cevher hazırlamayı gerektiren nedenler	12
2.2.3. Cevher zenginleştirme yöntemleri	13
2.3. Aglomerasyonun Önemi ve Amacı.....	14
2.3.1. Aglomerasyon yöntemleri.....	14
2.3.2. Yağ aglomerasyonu uygulama alanları.....	17
2.3.3. Yağ aglomerasyon yöntemleri	17
2.3.4. Yağ aglomerasyonu çalışmaları	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1. Materyal	22
3.1.1. Kömürün özellikleri	22
3.1.2. Deneylerde kullanılan yağlar ve özellikleri	22
3.1.3. Deneylerde kullanılan diğer kimyasallar ve özellikleri	23
3.2. Yöntem.....	23
3.2.1. Numune hazırlama	23
3.2.2. Elek analizi	23
3.2.3. Nem analizi	24
3.2.4. Kül analizi	24
3.2.5. Kalori tayini	25

3.2.6. Zeta potansiyeli ölçümleri	25
3.2.7. Yağ aglomerasyonu deneyleri	25
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	27
4.1. Yağ Konsantrasyonunun Yağ Aglomerasyonuna Etkisi	27
4.2. pH'ın Yağ Aglomerasyonuna Etkisi	28
4.3. Karıştırma Hızının Yağ Aglomerasyonuna Etkisi	31
4.4. Aglomerasyon Süresinin Yağ Aglomerasyonuna Etkisi	33
4.5. Yağ Aglomerasyonuna Dispersantların Etkisi.....	34
4.5.1. Nişasta konsantrasyonunun yağ aglomerasyonuna etkisi	35
4.5.2. Sodyum silikat konsantrasyonunun yağ aglomerasyonuna etkisi.....	37
4.5.3. Dispersantların sıralı ilavesinin yağ aglomerasyonuna etkisi.....	38
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	48

1. GİRİŞ

Artan enerji gereksiniminin karşılanmasında çok uzun zamandan beri kullanılan ve büyük rezervlere sahip olan kömür, dünyada önemli bir statüye sahiptir. Çağın gereği olarak gelişen teknoloji ve çevresel sorunlar göz önüne alındığında temiz bir çevre için, temiz ve yüksek kaliteli kömür gerekliliği her gün artış göstermektedir.

Türkiye'nin sahip olduğu linyit rezervlerinin kalitesi düşüktür ve lavvar artıkları önemli miktarda çok ince boyutta kömür barındırmaktadır. Bu artıklar, artık göletlerine boşaltılmaktadır. Bu durum, hem ekonomik önemi olan bir değer kaybı, hem de çevresel açıdan sorun kaynağıdır. Kömürlerin üretimi esnasında kullanılan mekanik yöntemler sonucunda, taşınma ve depolama işlemleri sırasında istemeksizin elde edilen mikrometre boyutundaki düşük kaliteli ve kirli kömürlerin ekonomiye bir kazanımının olmaması aynı zamanda işletmeler için de maddi bir külfettir. Bu nedenlerden dolayı bu kömürlerin kazanılması ve ekonomiye kazandırılması amacı ile farklı zenginleştirme yöntemleri uygulanmaktadır. Bunlardan ilki olan ve endüstriyel anlamda büyük bir öneme sahip olan flotasyon, metalurjik kömür tozlarının kükürt ve külden temizlenmesinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Fotasyonun yerini alabilecek alternatif bir seçenek ise ince taneli minerallerin kazanılmasında kullanılan ve yüksek verimle mineral elde edildiği için en iyisi olarak kabul edilen yağ aglomerasyonu yöntemidir.

Yağ aglomerasyonu, kömür ve minerallerin yüzey özellikleri farklılığından yararlanılarak organik ve inorganik tanelerin birbirinden ayrılması esasına dayanır. Yağ aglomerasyonu tekniği, ince boyutlu kömür taneciklerin bulunduğu sıvı içerisine bağlayıcı sıvının ilavesi ile farklı parametreler eşliğinde sistemin aktifleştirilmesiyle başlatılır. Hidrofobik yapıya sahip olan kömürlerin inorganik minerallerden ayrılması işlemi sonucunda, daha büyük boyutta aglomerat adı verilen yapı elde edilir. İnce boyutlu kömürlerin istenilmeyen minerallerden temizlenmesinde kullanılan yağ aglomerasyonu alternatif yöntemlere göre üstün özelliklere sahip olmasına rağmen ekonomik olarak kullanılmamaktadır. Nedeni ise kullanılan bağlayıcı sıvının maliyetinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı laboratuvar ortamında iyi sonuçlar elde edebiliyorken, başarısını ticari anlamda elde edememiştir.

Bu tez kapsamında çok ince tane boyutunda yüksek kül içeriğine sahip artık kömürlere yağ aglomerasyonu yöntemi ile temizleme işlemi uygulanmıştır. Tunçbilek lavvar artıklarından olan iki farklı şlam numunesi üzerinde yağ aglomerasyonu işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda bağlayıcı yağ olarak gazyağı ve mazotun optimum

miktarları deneylerle belirlenmiştir. İlaveten artık olarak israf edilen kullanılmış bitkisel yağların bağlayıcı sıvı olarak kullanılmasının olanakları araştırılmıştır. Bu durumda, artık tesislerinde biriktirilen şlam numunelerinin yağ aglomerasyonu yöntemi ile kül içeriklerinin azaltılarak yanabilir kısım veriminin artırılması amaçlanmıştır.



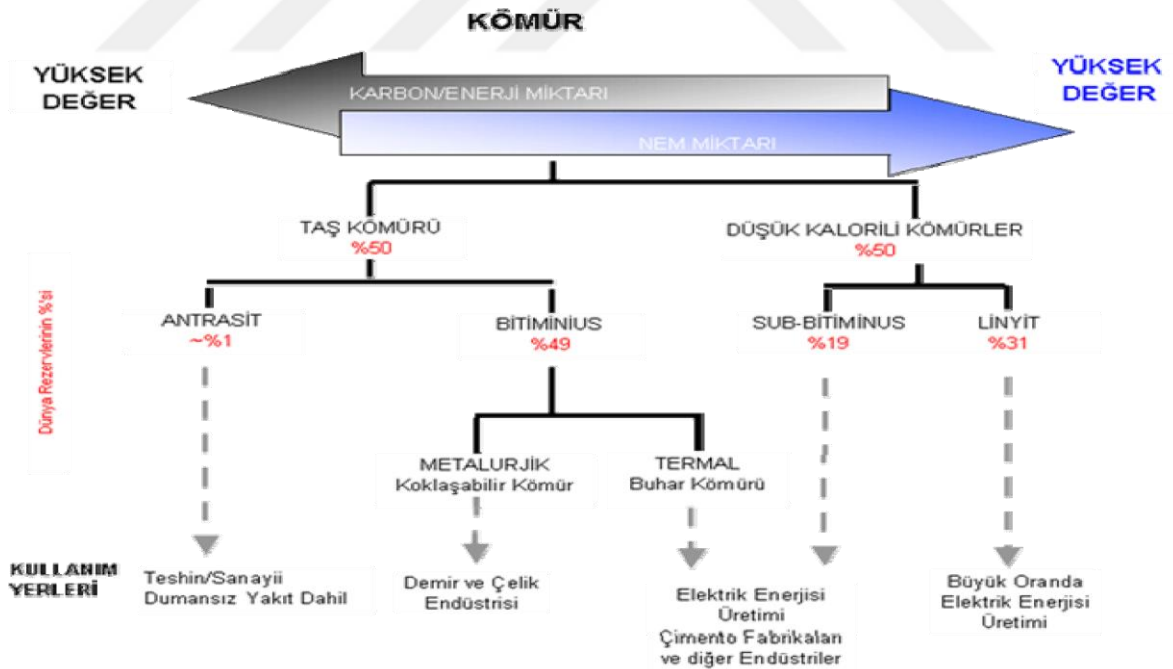
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kömür Hakkında Genel Bilgiler

2.1.1. Kömürün tanımı

Kömür genellikle diğer kaya tabakaları arasında biriken ve milyonlarca yıl boyunca basınç, sıcaklık ve mikrobiyolojik etkilerin sonucunda meydana gelen, temelinde karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan yanıcı, tortul, organik kayaç olarak tanımlanmaktadır.

Şekil 2.1’ de görüldüğü üzere, başlangıçta düşük kalorili kömürler zamanla linyit veya kahverengi kömüre dönüşür. Zamanla gelişen bu süreçte sıcaklık ve basıncın etkisiyle linyitte de birtakım değişiklikler meydana gelerek organik olgunluğa ulaşır ve sonuçta “alt bitümlü” kömürlere dönüşür. Bu süreçte kömürün yapısında kimyasal ve fiziksel değişikliklerin meydana gelmesiyle (sertleşip renkleri koyulaşarak) “bitümlü” veya “sert kömürler” oluşur. Uygun koşulların oluşmasıyla kömür yapısındaki organik olgunluk ileri yönde devam ederek “antrasit” oluşabilir (Van Krevelen, 1993).



Şekil 2.1. Kömürün oluşumu ve kömür türleri (Toprak, 2008)

2.1.2. Kömürün tarihçesi

Kömürün ilk olarak çok eski zamanlarda Çin’de (M.Ö. 3000) ısınma amaçlı kullanıldığı, sonraki dönemlerde ise Romalılar tarafından İngiltere’de (M.S. 4. yy) kullanıldığı sanılmaktadır. 13. yüzyıla gelindiğinde, Fransa’da basit işletme yöntemleri ile üretim yapılarak kömürün imalat alanında kullanılması sağlanmıştır (Ünalın, 2010).

Kömür kullanılan buharlı makinenin icadı, 18. yüzyılın ikinci yarısında başlayan sanayi devriminin başlangıcı kabul edilmektedir. Sanayi için gerekli en temel hammaddelerden biri olan kömür kullanımı, ilk olarak yeraltı kaynakları yönünden zengin olan İngiltere’de başlayıp ardından Batı Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya’ya sıçramış ve bütün dünyaya yayılmıştır. Ayrıca, 1792’de kömürün ısıtılmasından üretilen kömür gazı, aydınlatma için kullanılmaya başlanmış ve ilk olarak 1796 yılında ABD/Pennsylvania’da uygulanmıştır. Kömür gazının aydınlanmada kullanımı ile fabrikalarda gece çalışmalarına başlanmış ve üretimde artış sağlanmıştır. Dolayısıyla kömürün, 18. yüzyılda ortaya çıkan sanayi devriminin en önemli enerji hammaddesi olduğu görülmektedir (Ünalın, 2010).

Türkiye’de kömür madenciliğinin gelişimi 19. yüzyılın ilk yarısında, II. Mahmut zamanına rastlamaktadır. Bu dönemde donanma, tophane, darphane ve tersane gibi tesislerde ihtiyaç duyulan kömürün ithali çok zor olduğu için, tersane komutanları tarafından Osmanlı Devleti sınırları içinde kömür bulunabileceğini düşüncesiyle araştırmalara başlanmıştır. Bahriye erlerinden olan Gemici Hacı İsmail, 1822’de birtakım ‘kara taşlar’ bulmuş ve II. Mahmut tarafından beş kese altınla ödüllendirilmiştir. Fakat bu dönemde kömür üretimine başlanmamıştır. 1829’da terhisinden sonrası köyüne dönen Bahriyeli Uzun Mehmet ise, Karadeniz Ereğlisi Köseağzı Değirmeni Mevkii Viren Deresinde taşkömürü bulmuş ve II. Mahmut tarafından, beş bin kuruş mükâfat ve altı yüz kuruş aylıkla ödüllendirilmiştir. Daha sonraki yıllarda ilk olarak Zonguldak Kömür havzasında 1848 yılında kömür üretimine başlanmış, yabancı sermayeli şirketler tarafından 1936 yılında devlete devredilmiş ve ‘Mahmut Mesuliyetli Ereğli Kömür İşletmeleri Müessesesi’ adı ile Etibank’a bağlı olarak çalışmaya başlamıştır.

Ülkemizde kömürün stratejik öneminden dolayı üretiminin başlaması için devlet tarafından çeşitli kurumlar kurulmuştur. Türkiye’de kömürlerin çağın getirdiği teknolojik yeniliklerden yararlanılarak en iyi şekilde işletmek ve tek merkezden yürütmek için 1957 yılında, Türkiye Kömür İşletmeleri kurulmuştur. Daha sonra kömür üretim faaliyetleri ile uğraşan işletmeler Etibank’tan ayrılıp Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ) bünyesinde toplanmıştır (TKİ, 2009).

2.1.3. Kömürün oluşumu

Fiziki açıdan heterojen bir yapıya sahip olan, kimyasal açıdan ise bünyesinde organik ve inorganik bileşenler bulunduran kömür, bitkilerin bataklıklarda birikmesi ile oluşmuş tabakaların değişime uğraması sonucu meydana gelir. Bu tabakaların üzerine çeşitli çökeltilerin birikmesi ile yer hareketlerinin sonucu olarak bu bitkiler derinliklere gömülür. Gömülmüş olan bu bitkiler; artan ısı ve basınca maruz kaldıklarında oksidasyon, redüksiyon, hidroliz, kondansasyon gibi fiziksel ve kimyasal değişikliğe uğrayarak kömüre dönüşürler (Özpeker, 1991). Kömür, yapısında ana eleman olarak karbon, hidrojen, oksijen, az miktarda azot ve kükürt gibi elementler barındırır ki bu karbon çevrimi oluşumdaki ana unsurdur.

2.1.4. Kömürün sınıflandırılması

Organik ve inorganik maddelerin bir karışımı olan kömür heterojen bir yapıya sahiptir. Kömürleşme süresince maruz kalınan jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal farklılıklar nedeniyle bünyesinde nem, kül, uçucu madde, kükürt gibi birçok safsızlık içerir. Bu nedenle kömürlerin sınıflandırılmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. (Gülsuna, 2007). En yaygın kullanılan sınıflama ASTM (ASTM, 1983) olup bu sınıflandırmada kömürün sahip olduğu uçucu madde ve kalori değeri esas alınır. Ancak bir inorganik maddeyi tanımlarken bazen bu sınıflamalar yetersiz olup ek olarak organik petrografik incelemelerin de dikkate alınması gerekir. Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından kömür için "sert kömür" (linyit üzerindeki kaliteli kömürler), "kahverengi kömür" olarak genel bir sınıflandırılma yapılmıştır (Çizelge 2.1). Çizelge 2.2'de ise genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri verilmiştir. Ülkemizde turba, linyit, taş kömürü ve antrasit olarak sınıflandırılan kömür ISO sınıflaması ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 2.1. Uluslararası genel kömür sınıflaması (IEA, 1985)

A. Sert Kömürler	B. Kahverengi Kömürler
1. Koklaşabilir Kömürler Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kalitededir.	1. Alt Bitümlü Kömürler 4165-5700 kcal/kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez.
2. Koklaşmayan Kömürler <ol style="list-style-type: none"> Bitümlü Kömür Antrasit 	2. Linyit 4165 kcal/kg'ın altında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)

Çizelge 2.2. Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıttıcı özellikleri (Mervit ve Roy, 1986)

Linyit	Alt Bitümlü Kömür	Bitümlü Kömür	Antrasit
Kahverengi	Siyah	Koyu Siyah	Parlak Siyah
Kırılgan Çabuk toz halinde uflanma	Oksidasyonla veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde uflanma	Bloksu kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsi doku	Masif	Bantlı ve kompakt	Sert ve dayanıklı
Isı Değeri; 4610 kcal/kg'ın altında	Isı Değeri; 4610-6390 kcal/kg arasında	Isı Değeri; 5390-7700 kcal/kg arasında	Isı Değeri; 7000 kcal/kg'ın üzerinde
Uçucu madde miktarı ve nem içeriği yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü kömürlerden daha yüksek	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük	Uçucu madde ve nem içerikleri düşük
Düşük sabit karbon içeriği	Sabit karbon içeriği bitümlü kömürlerden düşük	Sabit karbon içeriği yüksek	Sabit karbon içeriği yüksek

2.1.5. Kömür türleri

Turbalar, birbirini takip eden ve yıllarca süren jeolojik, fiziksel ve kimyasal olaylar sonucu oluşmaktadır. Ölü bitki kalıntıları mikroorganizmaların yardımıyla bozulur, daha sonra üzerinde yetişen yeni bitkiler de zamanla ölür ve ayrışır. Yeni oluşan tabaka öncekileri su seviyesinin altına doğru iter ve bu böyle devam eder. Turbalaşma olarak adlandırılan bu süreç, bozulmanın yaşandığı ortam sulu ise daha hızlı gerçekleşir ve başlangıçtaki bitki türlerine, oluşum koşullarına ve çeşitli bitki kısımlarının çürüme derecelerine bağlı olarak farklı özellikler gösterir (Ateşok, 1986). Turbaların önemli birkaç özelliklerini şöyle sıralanabilir;

- Sulandırılmış alkali ile muamele edildiğinde, lif ve dal parçaları kalır.

- Süngere benzeyen yapısından dolayı elle sıkıldığında su kaybeder.
- Serbest selüloz içerir.
- %75'in üzerinde orijinal nem içerir.
- Turbalarda çıplak gözle ayrışmamış ve şekilleri bozulmamış bitkisel artıklar görülebilir.

Kahverengi kömür olarak da bilinen linyit, turba ve taş kömürü arası bir aşamadır. Kırılgan yapıda, toz halinde ufalanabilen, masif, odunsu veya kilsli dokuda bulunan, ısı değeri 4610 kcal/kg'ın altında olan, uçucu madde miktarı ve nem içeriği yüksek (%30-52), düşük karbon ihtiva eden bir yapıya sahiptir (DPT, 2009).

Linyitler, dış görünüşü açısından iki kısımda incelenir. Su oranı %20'nin altında olanlar sert linyit olarak nitelendirilirken bu oran %40'ı aşarsa yumuşak linyit olarak adlandırılırlar. Su ile temasları halinde şişerek dağılan ve çok düşük sağlamlığa sahip olan yumuşak linyitlerin ocaktan çıkarılma işleminden sonra depolanması pek mümkün değildir. Ancak yumuşak linyitlerin yüksek kalorileri göz önüne alındığında elektrik üretimi ve sanayi yakıtı olarak kullanılması daha uygundur (Kemal ve Arslan, 1999). Sert linyitlerin ise sağlamlığı fazladır ve düşük nem oranından dolayı taşınması ve depolanması daha kolay olup tozlanma özelliği de en az seviyededir (Şahinoğlu, 2006).

Nem oranı %18'in altında olan linyitler kurutulmadan kullanılabilir. Türkiye'deki linyitlerin ortalama su içeriği %31.39 civarındadır. Toplam rezervin sadece %13.9'unun nem oranının %18'in altında olması, kurutmadan da kullanılacak rezervlerin azlığını açıkça ortaya koymaktadır (Kemal ve Semerkant, 1984). Ülkemiz, dünya kömür rezervinin yaklaşık %2.1'ini kapsamaktadır ve linyit açısından önemli bir yere sahiptir. Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ) ve TKİ sahalarında 1.66 milyar ton, MTA sahalarında 7.3 milyar ton ve son dönemde özel sektör tarafından beyan edilen sahalarda 208.9 milyon ton olmak üzere ülkemiz linyit rezervleri toplam %109 artış ile (9.18 milyar ton) 17.5 milyar tona ulaşmıştır. Şekil 2.2'de görülen Türkiye linyit yataklarının %79'unun, 2500 kcal/kg ısı değerinin altında olmasından dolayı daha çok termik santrallerde kullanımı tercih edilmektedir. Son yıllarda gerçekleştirilen yaklaşık 70 milyon ton linyit üretiminin %85'i termik santrallerde tüketilmektedir. Linyite dayalı termik santrallerin kurulu gücü 8.515 MW olup bu güç, toplam kurulu gücün %23.6'sına karşılık gelmektedir. Maden Tetkik Arama (MTA)'nın 2018 yılı raporuna göre; rezervleri belirlenen, termik santral kurulabilecek özellikte olan ve bilinen sahalara yeni üniteler ilavesi ile kurulu gücün 20.000 MW daha artırılması, çalışmalar ile mümkün görülmektedir.



Şekil 2.2. Türkiye linyit yatakları (MTA, 2018)

Antrasit, Amerika’da sert kömür, Galler’de ise kaya kömürü şeklinde isimlendirilir. Rengi demir siyah olup kendine has yarı metalik parlaklığa sahiptir. Eli boyamaz ve küçük mavi alev şeklinde yanar. Tozlu ve isli bir yapısı olmaması ve aynı zamanda da çok koku yaymaması nedeniyle ev yakıtı olarak tercih edilir (Özpeker, 1991). Yüksek sıcaklıklara çıkışı hızlı olmadığı için ısı değeri düşüktür denebilecek durumdadır. Kömür çeşitleri arasında en sert olanıdır ve özgül ağırlığı $1.27-1.7 \text{ gr/cm}^3$ aralığındadır (Kural, 1991).

En eski kömür çeşidi olan taşkömürü, kömürleşme derecesi açısından linyit ile antrasit arasında yer alır. Taş kömürünün orijini ne kadar eskiye dayanırsa o derece iyi kömürleşmiş olur. Saf halde nem oranı oldukça az (%1-2) ve karbon oranı yüksektir. Düşük nem içeriği ve sağlam yapısı nedeni ile taşıma ve depolamada parça büyüklüklerini önemli derecede korurlar. Diğer kömür türlerine göre daha yüksek ısı değerine sahip olan taşkömürleri, demir-çelik fabrikaları, elektrik üretimi ve kimya sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Kemal, 1991).

2.1.6. Kömürün özellikleri

Kömür gevrek, kırılğan, yanabilen, içerisinde organik maddeler hatta değişik özellikte inorganik maddeler ihtiva eden kayaç olup fiziksel özelliklerinin yanı sıra kimyasal özellikleri önemli birer unsurdur (Kemal ve Arslan, 1999).

Kömürlerin özgül ağırlığı içerdikleri inorganik madde ve nem oranına bağlı olarak $1.1-2.2 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişiklik göstermektedir. Sertlikleri, linyit için 30 kg/mm^2 , antrasit için 120 kg/mm^2 arasında değişmektedir. Kömürlerin kalitesi ve özellikleri,

kalori, kısa ve elementel analizler ile belirlenir. Bunun yanında kömürlerde iz element analizleri de yapılabilmektedir. Kısa analiz; nem, uçucu madde, kül ve sabit karbon analizleridir. Ayrıca, bu analizler bir kömürün petrografik analizleri ve niteliklerini ortaya koyar. Kömür kalitesinin tespit edildiği kısa analizler aynı zamanda kömürün içerisindeki safsızlıkları da göstermektedir. Bunlar nem, uçucu madde, kül ve kükürttür.

Nem, kömürün ısı değerini etkilemesi ve kömürleşme derecesini göstermesi açısından oldukça önemli bir etkidir. Nakliye, stoklama ve yakma işlemlerinde gereksiz bir yük oluşturmanın yanı sıra kömürün kalori değerini de düşürmektedir. Kömür yandığı zaman açığa çıkan enerjinin bir kısmı nemin uzaklaştırılması için harcanmaktadır (Aykul ve ark., 2004).

Kül ise kömürün kalitesini etkileyen özelliklerden biridir. Kömüre uygulanan yanma işleminden sonra kalan kısım kömürün külü olarak adlandırılır. Kül, kömürün ısı değerini düşürmekte, aynı zamanda yanmasını da zorlaştırmaktadır. Bu açıdan bakıldığında Türkiye'deki linyitlerin %85'inin kül içeriği %20'nin üzerindedir (Kemal ve Semerkant, 1984). İşletme sırasında tavan ve tabandan karışan kayaçlarla beraber üretilen kömürlerin kül oranı daha da yükselmektedir. Sert linyitlerin yikanması ile kül oranı bir miktar azaltılsa da genel olarak linyitlerin kül oranı yüksektir.

Kükürt, kömürün istenmeyen diğer içeriklerinden biridir. Taş kömürlerde düşük olan kükürt oranı linyitlerde daha fazladır (Tefek, 1989). Kömürde kükürt, inorganik kükürt, sülfat ve piritik kükürt şeklinde sınıflandırılabilir (Şahinoğlu, 2006). Elementer kükürt ise diğerlerine göre az oranda bulunduğu için önemsiz kabul edilir (Atak ve ark., 1991). Linyitin yakılması sonucu ortaya çıkan kükürt oksitler hava kalitesine olan olumsuz etkisinden dolayı istenmez ve kükürtün yakma öncesi uzaklaştırılması gerekir.

Kömür oksijensiz ortamda ısıtıldığı zaman birtakım gaz ürünler ortaya çıkar ve bunlar kömürün uçucu maddesi olarak adlandırılır. Kömürün kalitesini belirleyen bir özellik olan uçucu madde oranı önemli bir parametredir ve kömürleşme derecesindeki artış bu oranı azaltmaktadır (Pişkin, 1988).

2.1.7. Dünya sektöründe kömür

Dünyada kömür üretimi son yıllarda artış göstermiş olup özellikle elektrik enerjisine olan talepten dolayı bu artış Çin başta olmak üzere Asya kıtasında, Avrupa ve Amerika'da devam etmektedir. 1998-2013 yılları arasında kesintisiz artan küresel kömür üretimi 2016 yılında bir önceki yıla göre %5.3 oranında azalarak 7,324 milyon ton

düzeyine gerilemiş, 2017 yılında ise %3.07 oranında artarak 7,549 milyon ton düzeyine yükselmiştir (IEA, 2018).

2018 yılı dünya kömür üretiminin %44.7'sini (3,376 milyon ton) tek başına Çin gerçekleştirmiştir. İkinciliği üstlenen Hindistan'ın payı %9.7 (729.8 milyon ton), ABD %9.3 (702.3 milyon ton) ve Avustralya ise %6.6 (501.1 milyon ton) oranındadır. Bu ülkeleri; Endonezya (487.6 milyon ton), Rusya (387.2 milyon ton), Güney Afrika Cumhuriyeti (257.1 milyon ton) ve Almanya (175.1 milyon ton) izlemektedir. Bu sekiz ülkenin Dünya'da kömür piyasasındaki toplam payları %90'a karşılık gelmektedir.

Kömür, ellinin üzerinde ülkede üretilmekte ve yetmişin üzerinde ülkede tüketilmektedir. Bunların yaklaşık %85'i taşkömürü ve %15'i ise linyit üretimidir. 2018 yılında 7.59 milyar ton düzeyinde olan tüketim oranı diğer yıllara göre 79 milyon ton artmıştır. 2000 yılı sonrasında, küresel kömür tüketim artışı çok büyük ölçüde Çin'in talebinden kaynaklanmıştır. Bu ülkenin 2000-2014 dönemindeki kömür tüketim artışı %192 oranındadır. Aynı dönemde Endonezya'nın tüketimi %172, Hindistan'ın tüketimi %154, Kazakistan'ın tüketimi %97 ve Güney Kore'nin tüketimi ise %85 oranında artış göstermiştir. Bununla beraber, aynı dönemde bazı gelişmiş ülkelerin kömür tüketimlerinde ise ciddi gerilemeler söz konusudur. İspanya'nın kömür tüketimi %51, Kanada'nın %33, ABD'nin %14, Rusya'nın %13 ve Ukrayna'nın %15 oranında azalmıştır (IEA, 2018).

2.1.8. Türkiye'de kömür sektörü

Ülkemiz enerji tüketimi son on yılda %46 artış gösterirken, enerji üretimimiz ise %28 oranında arttırılabildiği görülmüştür. Arzdaki toplam artış %12.5 düzeyinde kalırken, yerli üretimdeki artış, %14.29 gerçekleşerek arzdaki toplam artış oranının önüne geçmiştir. Yerli kömür üretiminin enerji tüketimini karşılama oranı 2005 yılında %11.4 düzeyindeyken, 2015 yılında %9.9 düzeyine gerilemiş fakat 2017 yılında %10.37 düzeyine yükselmiştir. Satılabilir kömür üretimi ise 71.46 milyon ton linyit, 1.23 milyon ton taşkömürü ve 1.41 milyon ton asfaltit olmak üzere bir önceki yıla göre %1.5 artarak toplam 74.0 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (EİGM, 2018).

Türkiye'de linyit üretimleri ise, özellikle 1970'li yılların başlarından itibaren, petrol krizlerine bağlı olarak elektrik üretimine yönelik linyit işletmeleri yatırımlarının başlaması ile hızlanmıştır. 2017 yılı satılabilir linyit üretimlerinin kuruluşlara dağılımı ise; TKİ 13.8 milyon ton, EÜAŞ ve bağlı ortaklıkları 15.67 milyon ton ve özel sektör

41.99 milyon ton şeklindedir. Böylelikle özel sektörün linyit üretimindeki payı %58.8 düzeyine yükselmiştir (TKİ, 2018).

2.1.9. Kömür kullanım alanları

Ülkemizde üretilen linyit kömürleri başta elektrik üretimi amacıyla termik santrallerde, sanayi sektörlerinde ve ısınma amaçlı olarak konut ve işyerlerinde tüketilmektedir. Ülkeler için enerji çok büyük stratejik öneme sahiptir. Bu kapsamda termik santraller ön plana çıkmaktadır. Türkiye’de de termik santraller ciddi bir açığı kapatmaktadırlar. Çizelge 2.3’te ton bazında santrallere verilen kömür miktarları verilmiş olup görüldüğü üzere en fazla kömür, en fazla güç üreten Soma termik santraline gitmektedir.

Çizelge 2.3. Santrallere verilen kömür miktarları (ton) (TKİ, 2018)

Santralin Adı	Bulunduğu İl	Kurulu Gücü (MW)	Verilen Kömür Miktarı (Ton)
Soma	Manisa	990	7,939,540
Tunçbilek	Kütahya	365	2,125,682
18 Mart Çan	Çanakkale	320	2,060,371
Odaş	Çanakkale	330	483,912
TKİ TOPLAM		2,005	12,609,505

Sanayide ise çimento fabrikaları kullanılan kömür bakımından en dikkat çekici sektördür. Ülkemizde kurulu 60 çimento fabrikası, 2018 yılı değerleriyle 72,544.43 milyon ton çimento üretimi yapmıştır. Sektörde yakıt olarak; petrokok, ithal taşkömürü, ithal ve yerli linyit, az miktarda fueloil ve doğalgaz kullanılmaktadır. Çimento fabrikalarında yakıtlar belirli oranlarda karıştırılarak 2.000-4.500 kcal/kg arasında ısı değere sahip linyit kullanılmaktadırlar (TÇMB, 2018).

Türkiye’de, büyük öneme sahip olan ve 21 adedi yakıt olarak kömür kullanan toplam 30 adet şeker fabrikası bulunmaktadır. Kömür kullanan fabrikalarda kalori değeri düşük (2.200-3.800 kcal/kg) ve yüksek (4.000-4.500 kcal/kg ve üzeri) olmak üzere iki sınıf kömür kullanılmaktadır. Bu fabrikaların yıllık linyit ihtiyaçları 900 bin ton civarındadır. 108.034 ton/gün üretim kapasitesine sahip şeker fabrikalarının 2017-2018 yılları arasında talebe bağlı olarak şeker üretimleri ortalama 1,525.05 milyon ton’dur.

İnşaat sektöründe kullanılan temel tüketim malzemesi olan tuğla ve kiremit fabrikaları da en çok kömür tüketen sektörler içindedir. Ülkemizde yaklaşık 420 adet

tuğla ve kiremit fabrikası bulunmaktadır. Bunlarda kullanılan yakıt 3.000-4.000 kcal/kg ısıl değerdeki linyittir ve miktarı yaklaşık 3-4 milyon ton/yıl olarak değişiklik göstermektedir.

Kömür ile ilgili önemli bir diğer husus ise, konutlarda ısınma amaçlı olarak kullanılmasıdır. Ülkemizin ısınma sektöründeki kömür ihtiyacı yaklaşık 1,897,252 ton'dur. Bu kömür ihtiyacının yaklaşık yarısı ithalat yoluyla, yarısı ise TKİ ve diğer yerli kömür üreticileri tarafından karşılanmaktadır (TKİ, 2018).

2.2. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme

2.2.1. Cevher hazırlama

Cevherler, içerdiği minerallerin bir veya daha fazlası ekonomik değer taşıyan kayalardır. Bu ekonomik değer ya doğal olarak ya da bazı işlemlerden geçirildikten sonra kazandırılır. Cevher hazırlama ise cevherdeki çeşitli minerallerin, kimyasal yapılarını bozmadan endüstrinin gereksinimine uygun hammadde haline getirmek ve ekonomik değer taşıyan mineralleri taşımayanlardan ayırmak için yapılan işlemlerin tamamıdır. Yapılan bu işlemlerin sonucunda bir takım kıymetli mineraller ve artık (gang) mineraller elde edilmektedir. Cevher hazırlama işlemlerinden sonra elde edilen ürünlerden kıymetli mineralin çoğunluğunun bulunduğu ürüne o mineralin konsantresi, işletme için ekonomik değeri olmayan gang minerallerinin çoğunluğunun toplandığı ürün ise artık olarak adlandırılmaktadır.

2.2.2. Cevher hazırlamayı gerektiren nedenler

Cevher hazırlamanın ortaya çıkması ve gelişiminde teknolojik, ekonomik ve sosyal olmak üzere üç sebep mevcuttur.

Teknolojik nedenler, cevherin yer kabuğundan üretilişi ile kullanılışı arasında, tüketim yerinin teknolojik gereğine uygun bazı değişiklikler geçirmesi esasına dayanmaktadır. Örneğin, kauçuk, boya ve ilaç endüstrilerinde dolgu maddesi olarak kullanılan manyezit, dolomit, kalker, talk ve kaolin gibi hammaddelerin 20 mikrometre tane boyutunun altına öğütülmeleri teknolojik bir zorunluluktur.

Ekonomik nedenlere bakılacak olunursa, yer kabuğundan doğal olarak üretildikleri şekil ile ekonomik değeri olan cevherlerin, ekonomik değerlerinin artırılması veya ekonomik olmayan cevherlere ekonomik değer kazandırılması esasına dayanmaktadır. Üretildiklerinde ekonomik değer taşıyan minerallere kömür, demir, bakır, kurşun, çinko gibi cevherler örnek verilebilir. Bu tür cevherlere uygun bir

zenginleştirme işlemi yapılarak ekonomik değerleri daha da arttırılmaktadır. Üretildiklerinde ekonomik değeri olmayan cevherlere altın, gümüş ve uranyum gibi cevherler örnek verilebilir. Bunlar ancak cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemleri sonrasında satılabilir hale getirilebilmektedir.

Sosyal nedenler ise madencilik faaliyetleri ile o bölgenin sosyo-ekonomik yapısının gelişim göstermekte olması demektir.

2.2.3. Cevher zenginleştirme yöntemleri

Boyuta Göre Zenginleştirme: Cevherler farklı minerallerden oluştuğu için boyut küçültme aşamasında farklı büyüklük ve şekillerde kırılırlar. Minerallerin kırılmaya karşı gösterdikleri dirençlerin aynı olmaması birbirlerinden farklı şekilde kırılmalarına neden olur ve bu özellik iri veya ince tanelerin birbirinden ayrılarak bazen önemli ölçüde zenginleştirmesine neden olur.

Ayıklama/Triyaj ile Zenginleştirme: Diğer adıyla triyaj olan ayıklama, madenciliğin ilk uygulamalarıdır. Günümüzde el ile ayırmanın yanı sıra otomatik ayıklayıcılar da uygulanmaktadır. Minerallerin fiziksel özelliklerinden (şekil, renk, parlaklık, radyo aktivite ve fosforesans özellikleri ve x ışınları) yararlanılarak faydalı mineral faydasız olandan ayrılabilir.

Gravite (Özgül Ağırlık Farkı) ile Zenginleştirme: Minerallerin özgül ağırlıklarının farklı olmasından yararlanılarak yapılan bir zenginleştirme yöntemidir. Bu yöntem diğer yöntemlere göre daha ekonomik olması nedeniyle daha çok tercih edilir. Uygulama alanları oldukça geniştir. Krom, kömür, sahil kumları, manganez, barit gibi mineraller özgül ağırlık farkı ile zenginleştirilebilmektedir.

Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme: Manyetik ayırma, minerallerin manyetik duyarlılığına bağlı olarak yapılan bir zenginleştirme yöntemidir. Mineraller manyetik ayırıcılarla zenginleştirebilen (paramanyetik) ve zenginleştirilemeyen (diamanyetik) mineraller olarak gruplandırılabilirler. Çok kuvvetli manyetik özellik gösteren mineraller ferromanyetik olarak adlandırılırlar.

Kimyasal Zenginleştirme: Cevherin kimyasal işleme maruz bırakılarak zenginleştirilmesi işlemidir. Bu alanda ilk kimyasal zenginleştirme işlemleri altın ve gümüş içeren cevherlere uygulanmış ve 20. yüzyılın başlangıcından itibaren altın ve gümüş kazanılmasında siyanür ile çözündürme en çok başvurulan yöntemlerden biri olmuştur (Özkan, 2015).

Flotasyon Yöntemi ile Zenginleştirme: Minerallerin yüzey veya ara yüzey özelliklerinden yararlanılarak faydalı mineralleri, faydasız minerallerden ayırmak amacıyla yaygın olarak kullanılan bir zenginleştirme yöntemidir.

Aglomerasyon Yöntemi ile Zenginleştirme: İnce taneli minerallerin hidrofobiklik özelliğinden yararlanarak bağlayıcı sıvı ilavesi ile daha büyük boyutta aglomerat elde etme esasına dayanmaktadır.

2.3. Aglomerasyonun Önemi ve Amacı

Aglomerasyon genel olarak bir araya gelerek topaklanma anlamında kullanılmaktadır. Toz veya çok ince malzemelerin çeşitli işlemler sonucunda boyutlarının büyütülmesi işlemlerinin tamamına aglomerasyon, bir araya gelerek bütünleşmiş parçalara da aglomerat adı verilir. Aglomerasyon sonrası büyük boyutlu elde edilen aglomeratların, taşıma kolaylığı ve daha sonrasında da yapılacak işlemler için malzeme özelliğinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Biriketleme, peletleme ve sinterleme madenciliğin alanına giren aglomerasyon uygulamalarıdır. Ayrıca seramik, gıda, ilaç, kimya vb. gibi birçok sanayi dalında da aglomerasyon işlemleri başarı ile uygulanmaktadır (Şimşek, 1999).

Aglomerasyonun uygulama nedenleri; toz olayını önlemek, malzemenin bulunduğu kaba yapılaşması ve topaklanmasını önlemek, kullanıma uygun iri tane elde etmek, yakma işlemi sırasında ızgara altına malzeme düşmesinin önlemek olarak sayılabilir (Kemal, 1991).

2.3.1. Aglomerasyon yöntemleri

Peletleme: Çok ince parçacıkların tambur veya platform gibi eğimli bir yüzey üzerinde ve sulu bir ortama eklenen bağlayıcı madde, nem ve ısı gibi parametreler yardımıyla belli boyutlarda sertleştirilmiş ve küre şeklinde malzeme elde işlemine peletleme denilmektedir (Kemal, 1991).

Biriketleme: Aglomerasyon işleminin mekanik bir yöntemi olup küçük parçacıkların bir kalıp içerisinde sıkıştırılarak bütün bir parça haline getirilmesi olayıdır. Adezyon ve kohezyon kuvvetlerinin etkisi ile herhangi bir bağlayıcı kullanılmadan (yumuşak linyitlere) yapılır.

Sinterleme: Metallerin ve seramik tozlarının kuvvetlendirilmesi için erime noktasına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılarak birbirine tutturulması olayı ise sinterleme olarak adlandırılır.

Makaslama flokülasyonu: Yüzey aktif maddeler yardımı ile süspansiyon içerisindeki ince tanelerin yüzeylerinin hidrofobik yapılması işleminin ardından karıştırma kuvvetinin etkisiyle tanelerin bir araya getirilmesini kapsayan işlemlerin bütünüdür (Warren, 1975).

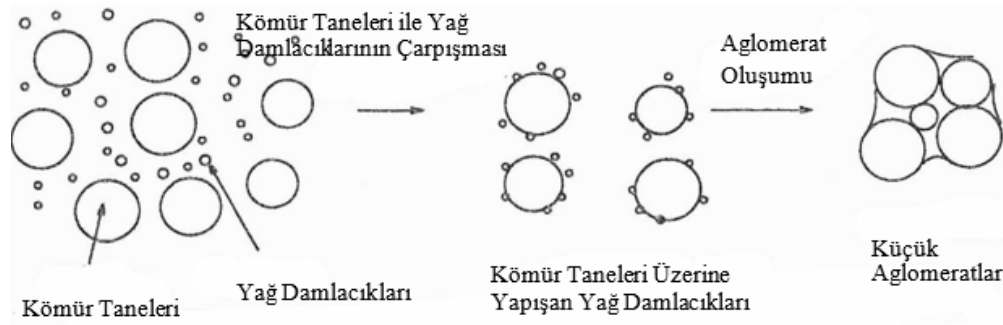
Koagülasyon: Süspansiyona alüminyum sülfat, alüminyum klorit, ferrik klorit, gibi elektrolitler ilave edilerek minerallerin yüzey şarjları nötr duruma getirilmeye çalışılır. Bu elektrolitler negatif elektrik yükü taşıyan partiküller üzerine adsorbe olarak sistemin zeta potansiyelini azaltmak yoluyla flokülasyona neden olmaktadır. İşlem sonunda elde edilen birbirine yapışmış taneler hacim olarak büyük fakat zayıf bağlı bir yapıya sahiptir (Şimşek, 1999).

Yağ aglomerasyonu: Minerallerin bünyesinde ihtiva ettiği organik ve inorganik safsızlıkların birbirlerinden ayrılması için uygulanan yöntemlerden birisi olup, sistem yağ, ince boyutlu mineral ve su karışımından oluşmaktadır (Garcia ve ark., 1995).

Yağ, hidrofobik (yağ sever) özellik gösteren mineral taneleri için bağlayıcı bir sıvı ortamı oluştururken, hidrofilik özellik gösteren mineraller için de ayırıcı bir ortam oluşturmaktadır. Sistem içerisindeki yağ, taneler arasında köprü görevini üstlenmektedir. Ancak, bu ortamların oluşması süspansiyonun karıştırılma süresi, hızı ve diğer parametrelere de bağlıdır. Karıştırma işleminin başlamasıyla taneler birbirleriyle temas ederek minerallerin organik kısmı yağa tutunur ve inorganik mineral maddeler süspansiyon ortamında kalır (Petela ve ark., 1995). Şekil 2.3'te görüldüğü gibi sistemdeki bireysel haldeki taneler karıştırma hızı ve süresi, pH değeri, yağ ve diğer yüzey aktiflerin etkisiyle birbirlerine yapışarak iri boyutlu ve sağlam yapılı aglomeratlar haline gelmektedir (Capes, 1980; Keller Jr ve Burry, 1987; Capes ve Jonasson, 1989; Shen, 1999). Yüksek kül ve kil içeren tüvenan toz kömür veya çok ince boyutlara öğütülmüş ara ürünlerin temizlenmesinde etkin bir yöntem olan yağ aglomerasyonu, laboratuvar şartlarında başarı ile uygulanmasına rağmen henüz endüstriyel anlamda büyük çalışmalar yapılmamıştır.

Yağ aglomerasyonu yönteminde sistemi denetim altında tutan en önemli parametreler;

- Kömür yüzeyinin özellikleri,
- Kullanılan bağlayıcının (yağ) türü ve miktarı,
- Karıştırma hızı ve süresi
- pH
- Yüzey aktif maddeler (Kılınç, 2000).



Şekil 2.3. Yağ aglomerasyonu işleminde aglomeratların oluşum mekanizması (Shen, 1999).

Başarılı aglomerasyon işlemi, kullanılacak yağın türüne ve miktarına ayrıca kömürün niteliği, tane boyutu ve nem içeriğine de bağlıdır. Düşük kalorili kömürler düşük hidrofobik özelliğe sahip oldukları için kullanılacak yağın seçimi, özel ve düzenli bir çalışma gerektirir (Doymuş, 1997). İnce taneler halinde dağılmış kömür ve su karışımından oluşan süspansiyona ilave edilen yağ, yağ sever özellik gösteren ve yağ ile ıslanabilen kömür taneleri için bağlayıcı bir sıvı ortamı oluştururken, su ile ıslanabilen mineral maddeler için de ayırıcı bir ortam oluşturmaktadır. Kullanılan hafif ve ağır yağlar aglomerasyon performansını etkileyebilir. Örneğin, yarı bitümlü kömürler ve linyitler için, kok fırını katranı, zift ve ham petrol gibi ağır yağların verimli olmasına rağmen hafif yağlarda aynı performansı göstermemiştir. Taşkömürü ve antrasitin aglomerasyonu işlemlerinde ise hafif yağlar oldukça etkili olmuştur (Mehrotra ve ark., 1983). Linyit kömürünün yüzeyinde hafif yağların düşük bağlayıcı özelliğine sahip olmasından dolayı; gazyağı ile aglomerasyonunda önemli bir başarı yakalanamamıştır. Gazyağı + Fueloil birlikte ilave edildiğinde verimde artışlar olmuştur. (Kaya, 1999). Yağ miktarının az ilavesi ile gevşek bir yapı oluşurken daha fazla ilavesi ile sağlam topaklar elde edilmekte daha da fazla yağ ilavesi aglomeratlar yağ çamuru haline dönüşmektedir (Capes ve Jonasson, 1989). Aglomerasyon işlemlerinde kullanılan yağlar çoğunlukla, kömürün ağırlıkça %10-50'si oranında kullanılmaktadır (Hacıfazlıoğlu, 2008).

Aglomerasyonda kullanılan yağların su içerisinde çözünemediklerinden ve yüksek viskoziteye sahip olmalarından dolayı kömür taneleri ile temasa geçebilmeleri zordur ve oluşan bağlar zayıf ve hemen dağılıbilirler. Bu nedenle, sağlam aglomerat eldesi için mekanik enerji uygulamalıdır. Aglomeratların pekişmesi ve küreselleşmesi, aglomeratların birbirine ve bulunduğu kabın iç yüzeyine defalarca çarpması ile sağlanabilir (Şimşek, 1999). Sistem içerisindeki kömür taneleri ile yağ damlalarının

çarpışması ile dağılma ve yapışma olayı meydana gelir. Bu iki olay, mekanik karıştırmanın hızı ve süresi ile ilgilidir. Mekanik karıştırma, yağın dağılmasını sağlar. Bununla beraber, yağ-su emülsiyonunun yalnızca mekanik karıştırma ile elde edilmesi çok mümkün olmayıp süre de önemli bir rol üstlenmektedir (Kılınç, 2000).

2.3.2. Yağ aglomerasyonu uygulama alanları

Endüstrinin ve cevher hazırlamanın artıkları genellikle karışım şeklindedir. Bunlar çeşitli amaçlar için sudan geçirilip temizlenmesi gerekmektedir. İçerisinde bulunan değerli mineralleri kazanmak için çöktürme, filtrasyon, santrifüjleme gibi yöntemler kullanılmakta olup çoğunlukla bunlar yetersiz kalmaktadır. Ancak yağ aglomerasyonu işlemleri ile geri kazanım konusunda hızlı ve etkili sonuçlar elde edilmektedir. Örneğin altın zenginleştirme tesislerinin atıklarında çok ince öğütülmüş ve diğer yöntemlerle kazanılması mümkün olmayan altın tanecikleri yağ aglomerasyonu ile kazanılabilmektedir. Bu yöntemin uygulanması laboratuvar ortamında ve endüstriyel anlamda başarıyla kullanılmaktadır (Demirel ve Özdağ, 1977).

Antimonit cevherinin çok yüksek bir hidrofobiklik yeteneği ve öğütme işlemindeki gevrekliğini göz önüne aldığı için kolayca ince boyutlara indiği için yağ aglomerasyonu işlemleri için uygunluğu belirtilmektedir (Akar, 1985).

2.3.3. Yağ aglomerasyon yöntemleri

Trent yöntemi: İlk yağ aglomerasyon yöntemi olmakla beraber kömürde uygulanmıştır. Tesisi 1922 yılında Virginia'nın Alexandria bölgesinde kurulmuştur. Takiben 1926 yılına kadar Benton, Newark, Spokene ve Toledo'da tesisler kurulmuştur. İşletme maliyeti çok yüksek olduğu için elde edilen temiz kömür, büyük kömür pazarlarında satılamamış fakat biriktikten sonra evlerde kullanılmak üzere süper yakıt olarak pazarlanabilmiştir ve birkaç yıl sonra uygulamadan kaldırılmıştır (Mehrotra ve ark., 1983).

Konvertol yöntemi: Trent tesislerinin kapanması ile birlikte 1952 yılına kadar yağ aglomerasyonu işlemi de rafa kaldırılmıştır. Faz dönüştürme esasına dayanan işlem, tertibatının pahalı olması ve santrifüj eleklerin aşınmasından dolayı kömür taneciklerinin kaybına yol açtığı dezavantajdan dolayı uzun süre uygulanamamıştır (Mehrotra ve ark., 1983).

National Research Council of Canada (NRCC) yöntemi: 1960'ların başlarında geliştirilmiş olup küresel aglomerasyon yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Kömür

artıklarından kömürün kazanımının en önemli uygulamalarından biri olmasının yanı sıra diğer yöntemlere göre ürünün daha sıkı ve küresel bir yapıda olması ile de dikkat çekmiştir (Mehrotra ve ark., 1983).

Shell Pelletizing Seperator (SPS) yöntemi: Shell Research tarafından geliştirilen SPS yöntemi, iyi bir karıştırma cihazının hem süreden hem de yağdan tasarrufu esasına dayanmaktadır (Zuiderweg ve Van Lookeren Campagne, 1968).

Olifloc yöntemi: Bu yöntem, flotasyon, filtreleme ve santrifüj işlemlerinin seçicilik ve performansların arttırmayı amaç edinmiştir (Bogenschneider ve Jasulaitis, 1977).

Central Fuel Research Institute (CFRI) yöntemi: Bu yöntem ile yıkanması güç ve kok yapılması mümkün olmayan kömürlerin temizlenmesi amaçlanmış olup Hindistan Dhanbad'daki Merkezi Yakıt Araştırma Enstitüsü (CFRI) tarafından geliştirilmiştir (Mehrotra ve ark., 1983).

Broken Hill Proprietary (BHP) yöntemi: Faz ayırımı yapmak için, yüksek enerji tüketimi ile birçok yöntem denenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu enerji tüketimini azaltmak için, düşük viskoziteli yağların kullanılması ve ağır yağların ısıtılması gerektiğine karar verilmiştir. BHP yöntemi ile enerji tüketimini azaltması ve yağın verimli şekilde kullanılmasını amaçlanmıştır (Nicol ve Swanson, 1979).

Integrated Pipeline Transportation and Coal Cleaning System (IPTACCS) yöntemi: Yağ aglomerasyon yöntemi, fazla yağ kullanımı ve fiyatlarının yüksek olması nedeniyle ticari olarak kullanılmamıştır. Broken Hill Proprietary (BHP) ve British Petroleum Australia (BPA) ortak girişimi ile yağı tekrar kazanmayı amaçlayan bir yöntem üzerinde çalışmaya karar vermişlerdir. Yağ aglomerasyonu işlemi sırasında kullanılan yağdan yeniden yararlanma olanağı önemli ölçüde fiyatı düşürmektedir. Ayrıca IPTACCS yönteminde elde edilen yağsız aglomeratlar, geleneksel kömür ürünlerine göre daha üstün depolanma ve işlenebilme özelliğine sahiptir (Rigby ve Yoshinaga, 1985).

2.3.4. Yağ aglomerasyonu çalışmaları

Çuhadaroğlu ve Özdağ (1996), Zonguldak kömür yıkama tesisinden (lavvar) temin edilen kömürün flotasyon ve yağ aglomerasyonu ile temizlenebilme olanaklarını araştırmışlar ve yağ aglomerasyonu ile flotasyona göre daha yüksek verim ve düşük küllü ürünler elde etmişlerdir. Ancak oldukça yüksek maliyet ortaya çıkmıştır. Uçbaş ve Hoşten (1989) ise yine Çatalağzı lavvarından alınan flotasyon girdisi kömür ve jig çıkışı ara ürün numuneleri üzerinde yağ aglomerasyonu deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Her iki numune

için bağlayıcı yağ miktarının ve türünün, katı oranının ve tane boyunun, aglomerasyon deneyleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda kullanılan yağ miktarının aglomeratların kül oranını belirlediği ancak bu oranın katı konsantrasyonundaki değişimlerden etkilenmediği, tane boyutu küçüldükçe daha düşük oranlarda küllü aglomeratların elde edilebildiği ve aglomerasyon yöntemi ile flotasyona göre daha düşük küllü kömürler elde edildiğini ifade etmişlerdir. Zonguldak bitümlü kömürün yağ aglomerasyonu ile temizlenmesi için yapılan başka bir çalışmada, çeşitli tuzların (FeSO_4 , NaCl , FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) aglomerasyona etkilerini incelenmiştir. NaCl miktarı arttıkça yanabilir kısım veriminin artarken, FeCl_3 ve $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ konsantrasyonundaki artışın yanabilir kısım veriminde önemsiz düşmelere neden olduğunu ifade etmişlerdir. Ancak FeSO_4 konsantrasyonu arttıkça yanabilir kısım veriminde önemli derecede düşüş meydana gelmiştir (Cebeci ve ark., 2002). Zonguldak kömürü ile yapılan başka bir yağ aglomerasyonu çalışması Ünal ve arkadaşları (2000) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kül içeriği %18.47 olan kömürün yağ aglomerasyonu ve ağır ortam ayırması sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Gazyağının Zonguldak kömürünün aglomerasyonu için iyi bağlayıcı olduğu ve miktarının en önemli parametre olduğu belirtmişlerdir.

Cebeci ve Canpolat (2001), Ukrayna kömürü üzerinde yaptıkları çalışmalarda aglomeratların boyut dağılımına; aglomerasyon süresinin, karıştırma hızının, bağlayıcı sıvı konsantrasyonunun ve oksidasyonun etkilerini incelemişlerdir. Kümülatif elek altı eğrilerinden d_{50} değerleri tespit edilmiş ve karakteristik eğri şeklinin, karıştırma hızı, bağlayıcı sıvı konsantrasyonu ve aglomerasyon süresine bağlı olarak değişmediği fakat oksidasyondan etkilendiği ifade etmişlerdir. Canpolat (2003), taşkömürü ile yaptığı aglomerasyon deneylerinden elde ettiği aglomeratların yanabilir kısım veriminin %97.44 ve kül gideriminin ise %30.06 olduğunu belirlemiştir. Ayrıca NaCl ve Na_2SiO_3 'ün aglomerasyona olan etkisi incelenmiştir.

Yağ aglomerasyonunda yağ konsantrasyonu arttıkça verim de artmaktadır. Literatürde iki farklı linyit numunesinde yağ miktarının artmasıyla kül ve sülfür içeriğinin de azaldığı ifade edilmektedir (Gürses ve ark., 2003). Aynı çalışmada artan aglomerasyon süresi ile verimde gözle görülür bir artış gözlenmiş olup kül ve sülfür içeriklerindeki azalmanın ise aglomerasyon süresine bağlı olmadığı saptanmıştır.

Yağ aglomerasyonunda kullanılan farklı yağlar ile ulaşılan aglomerasyon başarıları farklı olabilmektedir. Xu ve ark. (1991), lavvar tikiner altı atıklarından temin ettikleri numune ile atık motor yağı kullanarak aglomerasyona işlemleri

gerçekleştirmişlerdir ve deney sonuçları incelendiğinde kül oranlarında azalma olduğu görülmüştür. Saripalli ve ark. (1995) yapmış olduğu çalışmada, atık motor yağlarının ihtiva ettiği kurşun, kadmiyum gibi metalleri barındıran atık motor yağının aglomerasyon işlemlerinde kullanmasının kömürün kalitesine etkileri araştırılmıştır. Lavvarın tikiner altı atıklarından temin ettikleri numuneden yaklaşık %1 oranında atık motor yağı ile deneyler yapılmış ve sonuç olarak atık motor yağının düşük oranlarda kullanılması ile elde edilen temiz kömür kalitesini olumsuz yönde etkilemedikleri hatta toksik metallerin uzaklaştırılmasında etkili olduğunu ortaya çıkarmıştır. Valdes ve Garcia ise (2006), lavvar atığı numunesini birçok kez kızartma amacıyla kullanılmış atık zeytinyağı ve atık ayçiçeği yağı karışımını kullanılarak külünü azaltmış ve yüksek kalorili temiz kömür elde etmişlerdir. Kullanılan yağların fiziksel özellikleri aglomerasyonu önemli oranda etkilemektedir. Valdes ve ark. (2007), atık bitkisel yağların bazı yapısal ve fiziksel özelliklerinin aglomerasyondaki etkilerini üzerinde çalışmışlardır. Lavvar atıklarını, 150°C'de 1-15 gün arası ısıtılan bitkisel zeytinyağı yağı, evde birçok kez kızartma amaçlı kullanılmış atık zeytinyağı ve atık zeytinyağı-atık ayçiçeği yağı karışımı kullanılarak aglomerasyon deneyleri yapmışlardır. Bitkisel atık yağların bazı yapısal ve fiziksel özelliklerinin aglomerasyondaki performans düzeylerini etkilediklerini ortaya koymuşlar ve sonuç olarak bitkisel atık yağların aglomerasyonda kullanılabilirliği ortaya çıkmıştır.

Kullanılan yağ miktarının artması aglomerasyon başarısını arttırmaktadır. Ancak artan yağ miktarı ile yöntemin ekonomikliği de azalmaktadır. Bu nedenle aglomerasyonda tüketilen yağın azaltılması için çeşitli reaktiflerin süspansiyona eklenmesi düşünülebilir. Şahbudak (1998), taş kömürlerinin yağ aglomerasyonu ile temizlenmesinde bağlayıcı yağ ekleme işlemi öncesinde NaCl, FeCl₂, Fe₂(SO₄)₃, Al₂(SO₄)₃, CCl₄, Metanol, Etanol, Broform ilavesiyle yağ tüketiminin azaltılmasını incelemiştir. Sadece gazyağı kullanılarak yapılan deneyler sonucunda verimin arttığı fakat belirli bir değerden sonra düştüğü görülmüştür. Taşkömürünün yağ aglomerasyonu ile temizlenmesinin araştırıldığı başka bir çalışmada ise, karıştırma hızı, pH ve süspansiyon karışım süresi gibi parametreler sabit tutularak deneyler yapılmıştır. Demir sülfat Heptahidrat (FeSO₄.7H₂O) ile yapılan deneylerde verimde düşüşler gözlenirken, demir klorür heksahidrat (FeCl₃.6H₂O) ile artış elde edilmiştir (Şimşek, 1999).

Ünal (1999), Zonguldak bitümlü kömürü, Manisa Soma- Sarıkaya ve Manisa Soma- Elmalı linyitleri ile yağ aglomerasyonu deneyleri yaparak ağır ortam ayırma işlemleri sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Sonuç olarak deney sırasında tercih edilen dispersant süspansiyona fazla miktarda eklendikçe katı parçacıkların yüzey özelliklerini

değiştirmiştir. Wang ve ark. (2010), toz boyuttaki atık Çin kömürleri üzerinde günde 30 dakika olmak üzere 7 gün boyunca ısıl işleme tabi tutulmuş kolza yağının aglomerasyona olan etkisini araştırmışlardır. Uygulanan ısıl işlem sonucu oluşan atık yağın vizkozite ve kimyasal yapı değişiminin yanabilir verim, kl azaltımı ve ayırma etkinliği değeri üzerinde çok önemli bir etkisinin olmadığını belirlemişlerdir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu bölümde kullanılan numuneler, yağlar, kimyasallar ve bunların özellikleri aşağıda detaylı olarak tanımlanmıştır.

3.1.1. Kömürün özellikleri

Tunçbilek bölgesinde yer alan önceleri çalışma yapılmış fakat ekonomik açıdan değerli olmadığı için terkedilen verimsiz damarlardan sonrasında açık işletme yöntemi ile malzeme alımı yapılmaktadır. Yağ aglomerasyonu deneylerinde mevcut ocak alanına kurulan 200 ton/saat kapasiteye sahip lavvar tesisinde bulunan, tikiner altından alınan şlam (Ş) ve farklı birkaç ocağın alınarak homojen olarak karıştırılmış olan artık karışım (K) numunesi kullanılmıştır.

Kullanılan şlam numunesinin kül içeriği %72.6 ve karışımın ise kül içeriği %38.3 olarak belirlenmiştir.

3.1.2. Deneylerde kullanılan yağlar ve özellikleri

Aglomerasyon işlemlerinin en önemli parametrelerinden biri de sıvı bağlayıcı görevini üstlenen yağlardır. Bu tez çalışmasında yapılan deneylerde gazyağı, mazot ve evsel atık kızartma yağı olmak üzere 3 farklı yağ kullanılmıştır.

Gazyağı (kerosen) genellikle sanayide kullanılan bir petrol türevidir. Yoğunluğu 0.77-0.81 g/cm³ arasında olup viskozitesi 1.0-1.9 mm²/s arasındadır. 150 °C ile 270 °C arasında petrolün çok ince bir şekilde damıtılmasıyla elde edilir.

Mazot; hidrojen (H) ve karbondan (C) oluşan bir hidrokarbon (HC) olan, ham petrolün 200-380 °C dereceleri arasında damıtılmasında elde edilen, özgül ağırlığı 0.80-0.84 g/cm³ ve viskozitesi 2.0-4.5 mm²/s olan bir yakıttır.

Atık yağ olarak ise ev ortamında bir aydan uzun süreyle ve haftada en az 1 kez patates kızartılmış olan atık yağ kullanılmıştır. Kızartma sonucu oluşan atık yağların fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimler sonucunda yoğunluğu ve viskozitesi yüksektir. Literatürde benzer şekilde kullanılmış olan atık yağların yoğunluğunun 0.9-0.92 g/cm³ arasında viskozitesinin ise 14.9-145.2 mm²/s arasında değiştiği belirtilmektedir (Almeida ve ark., 2015; Xie ve ark., 2015; Hisham ve ark., 2017; Vargas ve ark., 2019; Shen ve ark., 2019).

3.1.3. Deneylerde kullanılan diğer kimyasallar ve özellikleri

Deneylerde, süspansiyonun pH'ı, %1 ve %5'lik olarak hazırlanmış hidroklorik asit (HCl) (Merck) ve sodyum hidroksit (NaOH) (Carlo Erba) ile ayarlanmıştır. Dağıtıcı olarak ise sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve buğday nişastası kullanılmıştır. Tüm deneylerde monodistile su kullanılmış olup yalnızca aglomeratların yıkanmasında musluk suyu kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

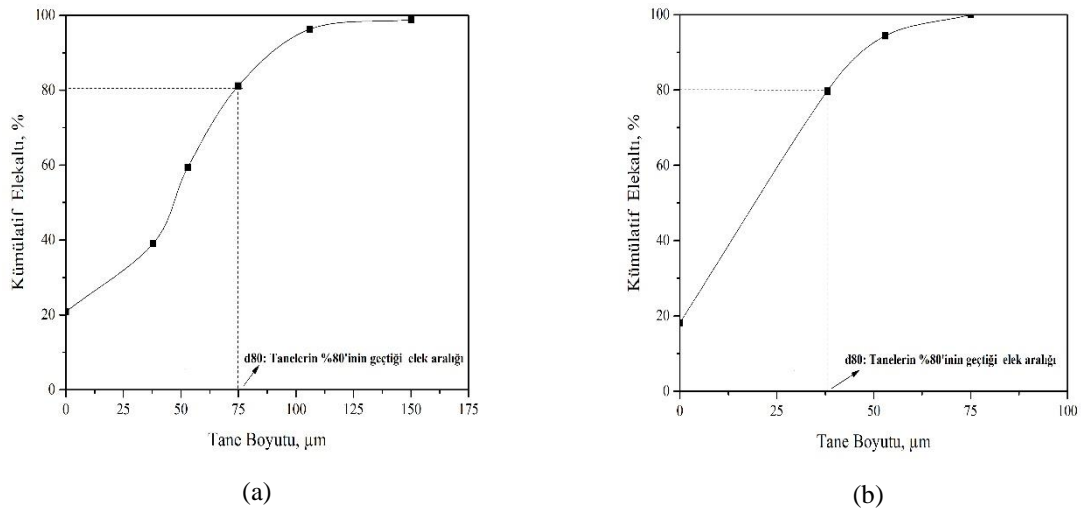
Bu bölümde numuneler üzerinde gerçekleştirilen ölçümler, analizler ve deney yapımı ile ilgili bilgiler verilmiştir.

3.2.1. Numune hazırlama

Tez çalışmasının tamamında Türkiye Kömür İşletmesi Kurumu GLİ (Garp Linyitleri İşletmesi) Müessesine bağlı Tunçbilek Bölgesi atık kömürleri kullanılmıştır. Deneylerde iki farklı numune temin edilmiştir. Bunlardan biri şlam (Ş) olarak adlandırılan ve tikiner altından pompalar aracılığı ile şlam havuzuna gönderilen numuneden, diğeri ise karışım (K) diye adlandırılan müessese içerisinde mevcut olan ocaklardan alınan şlamların homojen bir şekilde birleştirilmesi ile oluşan numunelerdir. Numune hazırlama işlemlerinin başlangıcında kullanılacak atık kömürler, numunelerin nemli yapısından dolayı öğütme işlemleri sırasında oluşabilecek yapışma ve topaklanmayı engellemek için kurutulmuştur. Kurutma işlemini takiben numuneler sırası ile bir koni meydana getirecek şekilde hazırlanmıştır. Daha sonra koni tepesinden üzerine hafifçe bastırılarak yassılanmış, düzgün yuvarlak şekle getirilmiştir ve ayırıcı ile dört kısma ayrılarak konileme-dörtleme işlemi uygulanmış ve numuneler azaltılmıştır. Farklı iki çene açıklığı olan çeneli kırıcıda boyutları küçültülen numuneler son olarak, çubuklu değirmene beslenerek öğütülmüş ve sonrasında ince tane boyutta homojen numuneler elde edilmiştir.

3.2.2. Elek analizi

Karışım ve şlam numuneleri farklı elek açıklığına sahip eleklerden elenmiştir. Elek üstünde kalan malzemeler tartılarak elek üstü ve elek altı yüzdeleri hesaplanmıştır. Numunelerin tane boyut dağılımı grafikleri Şekil 3.1'de verilmiş olup tanelerin %80'inin geçtiği elek açıklığını ifade eden d_{80} değerinin şlam ve karışım numuneleri için sırasıyla 38 μm ve 75 μm olduğu bulunmuştur.



Şekil 3.1. Karışım (a) ve şlam (b) numunelerinin tane boyut dağılımı grafikleri

3.2.3. Nem analizi

Nem analizi, ASTM D 3173–03 ‘Kömür ve Kok Analiz Numunesinin Nem Tayini için Standart Test Metodu’na göre yapılmıştır. Şlam ve karışım numuneleri hassas terazi ile tartılarak, 105 °C’lik sıcaklığa sahip etüve konulmuş ve 1 saat sonra etüvden çıkarılıp soğutma işleminden sonra tartılarak ağırlığı not edilmiştir. Numuneler tekrar etüve konularak belirlenen zaman aralıklarında tartım işlemleri tekrarlamış ve bu işleme tartım değeri sabitleninceye devam edilmiştir. Numunelerin kütle kaybından şlam ve karışım numuneleri için nem miktarları sırasıyla %25.05 ve %18.45 olarak belirlenmiştir.

3.2.4. Kül analizi

Kül analizi, ASTM D 3174–04 ‘Kömür ve Kok Analiz Numunesinin Kül Tayini için Standart Test Metodu’na göre gerçekleştirilmiştir. Hassas terazide tartılan numuneler darası alınmış porselen krozelere konulmuş ve kül fırınında 4 saat süreyle (750 °C’de) yakılmıştır. Kül fırınından alınan numunelerin tekrar tartımları alınmış ve kül değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%Kül = [M_2/M_1] \times 100 \quad (3.1)$$

Burada; M_1 ve M_2 sırasıyla yakma öncesi ve sonrası kroze içerisindeki numune ağırlığıdır (g). Örneklerin kül değerleri iki ölçümün aritmetik ortalaması alınmak suretiyle, şlam ve karışım numuneleri için sırasıyla %72.6 ve %38.3 olarak belirlenmiştir

3.2.5. Kalori tayini

Kalori tayini, ASTM D 5865–10a ‘Kömür ve Kok Analiz Numunesinin Brüt ve Net Kalorifik Değeri Tayini için Standart Test Metodu’na göre yapılmıştır. Leco AC-350 marka cihaz ile kuru numune yüksek basınç altında saf oksijen ile yakılarak kalori değerlerinin şlam için 1185.6 kcal/kg, karışım için 4128.0 kcal/kg olduğu tespit edilmiştir.

3.2.6. Zeta potansiyeli ölçümleri

Zeta potansiyeli ölçümlerinde, Brookhaven Zeta Plus cihazı kullanılmış ve birbirinden bağımsız 4 adet ölçümün ortalaması alınmıştır. Zeta potansiyeli değerleri süspansiyonun doğal pH değerinde ve pH’a bağlı olarak ayrı ayrı belirlenmiştir. Süspansiyonun doğal pH’taki zeta potansiyeli değeri değerleri karışım numunesi için (-15.37) mV ve şlam numunesi için (-17.45) mV’tur.

3.2.7. Yağ aglomerasyonu deneyleri

Yağ aglomerasyonu deneylerinde 400 cm³ hacminde silindirik cam beher kullanılmış olup çarpışma olasılığının artırılması için beherin iç yüzeylerine birbirine eşit mesafede olacak şekilde 4 adet cam bariyer (1 cm genişlik, 6 cm yükseklik) yapıştırılmıştır. Deneylerin başlangıcında kömür numunelerinin süspansiyonda homojen olarak dağılmasının sağlanması için 5 gr kömür numunesi ile 100 cm³ su, mekanik karıştırıcı ile yüksek hızda karıştırılmış daha sonra behere 200 cm³ daha saf su ilave edilerek süspansiyondaki suyun hacmi 300 cm³e tamamlanmıştır. Daha sonra çalışılacak pH değerine göre süspansiyonun pH değeri HCl veya NaOH eklenerek ayarlanmış ve ölçülen pH değeri sabit olana kadar karıştırmaya devam edilmiştir (yaklaşık 1 dakika). pH ayarlamasını takiben süspansiyona istenilen miktarda yağ ilave edilerek belirlenen aglomerasyon süresi sonunda sistem durdurulmuştur. Süspansiyon test eleğinde (şlam ve karışım numuneleri için sırasıyla 53 µm ve 106 µm’lik açıklığa sahip) elenerek aglomera olmayan kısımların su ile yıkarak elek altına geçmesi sağlanmıştır. Elek üstü malzeme kaba filtre kâğıdında süzülükten sonra 105 °C’lik sıcaklıktaki etüvde 2 saat kurutulup tartılarak aglomeratların ağırlığı belirlenmiş ve yüzde aglomerat kazanımları Eşitlik 3.2’den hesaplanmıştır. Aglomeratlar kül içeriklerinin tespit edildikten sonra yanabilir kısım verimleri (YKV, %) Eşitlik 3.3 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%A = [M_a/M_b] \times 100$$

(3.2)

$$\% \text{ YKV} = 100 \times \frac{A(100 - A_{\text{kül}})}{B(100 - B_{\text{kül}})} \quad (3.3)$$

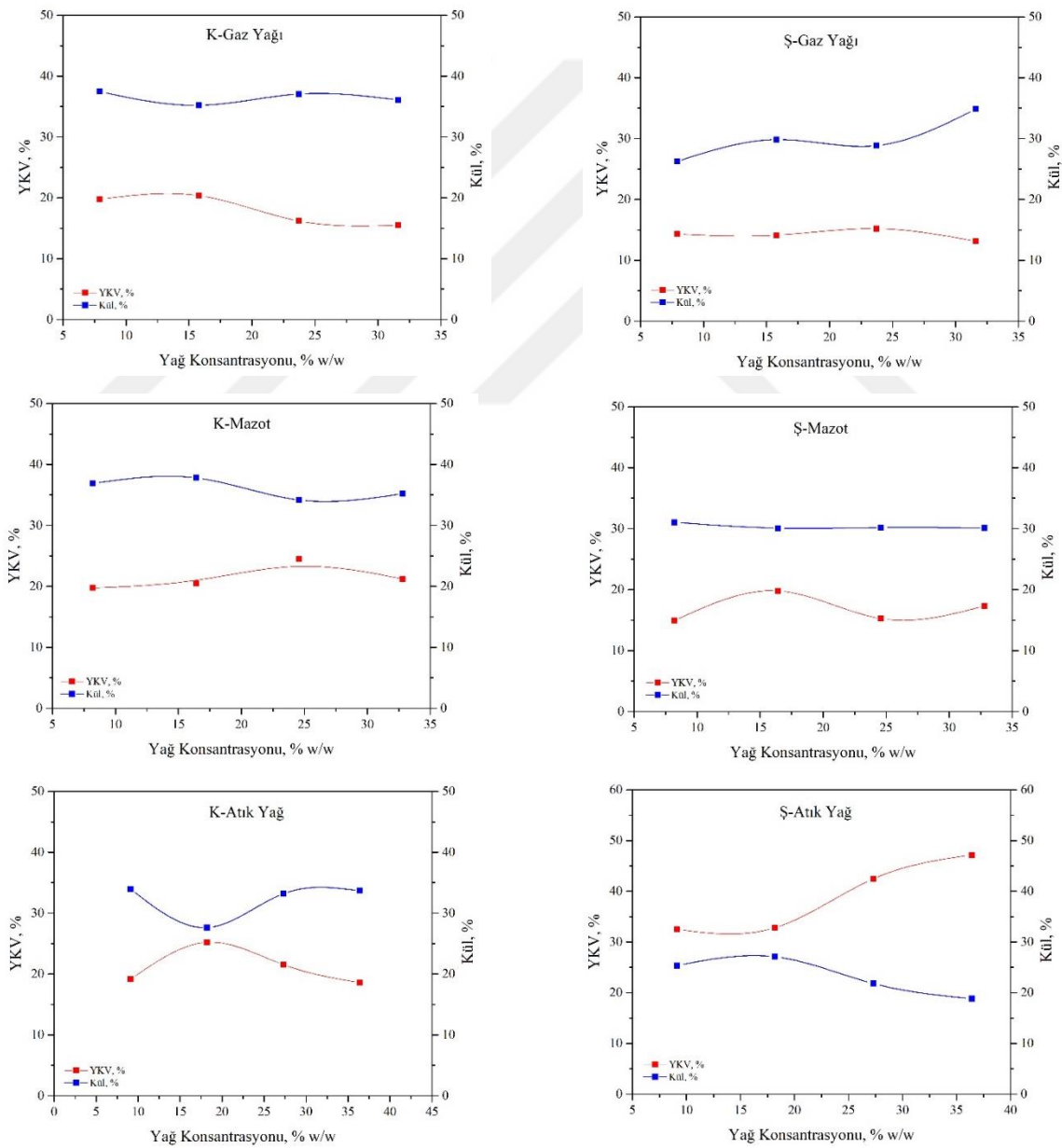
Burada; M_a ve M_b (g) sırasıyla aglomerat miktarı (kurutulmuş elek üstü malzeme) ve besleme miktarıdır. %A ve %B sırasıyla aglomerat ve besleme yüzdesi olup $A_{\text{kül}}$ ve $B_{\text{kül}}$ ise sırasıyla aglomeratların ve beslemenin kül içeriklerini göstermektedir.



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Yağ Konsantrasyonunun Yağ Aglomerasyonuna Etkisi

Farklı konsantrasyonlardaki gaz yağı, mazot ve atık yağın karışım ve şlam numunelerinin yağ aglomerasyonuna etkileri ayrı ayrı incelenmiştir. Deneylerde aglomerasyon süresi 3 dakika, karıştırma hızı 500 dev/dak olarak sabit tutulmuş ve süspansiyonların doğal pH değerlerinde çalışılmıştır. Karışım numunesi için doğal pH değeri 5.3 ve şlam numunesi için doğal pH değeri 7.2'dir. Deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.1'de verilmiştir.



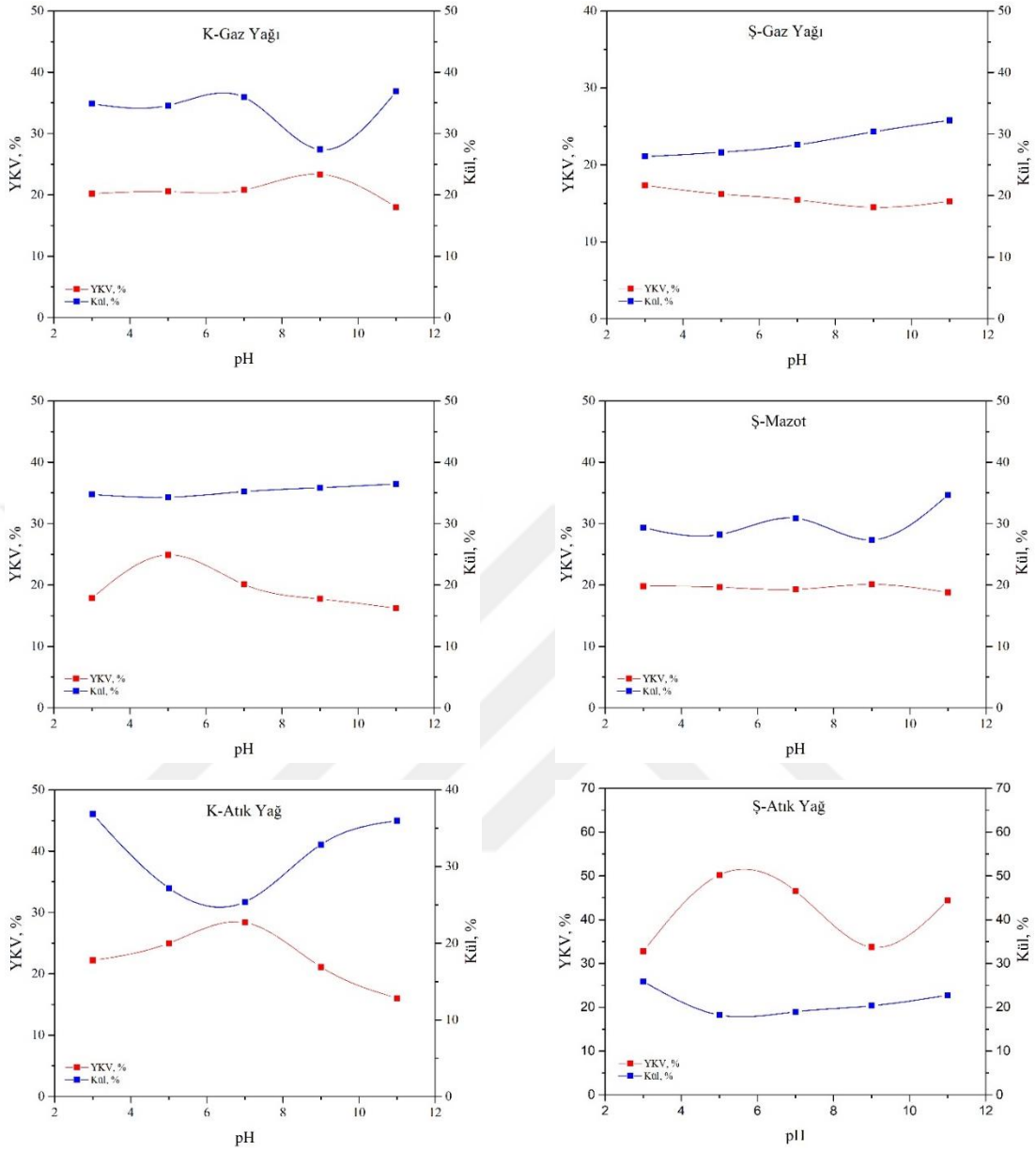
Şekil 4.1. Yağ konsantrasyonunun yağ aglomerasyonuna etkisi

Gaz yağı ile yapılan deney sonuçları incelendiğinde karışım numunesinin kül içeriğinin %38.3'ten %35.21'e kadar azaldığı, yanabilir kısım veriminin ise %20.37 olduğu optimum gaz yağı miktarı, %15.8 olarak belirlenmiştir. Şlam numunesinde ise kül içeriğinin %72.6'dan %28.86'ya düştüğü yanabilir kısım veriminin ise %15.22 olduğu optimum gaz yağı miktarı %23.7 olarak belirlenmiştir. Mazot ile yapılan deneylerde de sonuçlar gazyağından elde edilen sonuçlara yakın olup karışım numunesi için en uygun gaz yağı miktarı %24.6, şlam numunesi için ise %16.4'tür. Bu konsantrasyon değerlerinde elde edilen aglomeratların kül içerikleri karşılaştırdığında şlam numunesinin kül içeriği karışım numunesine göre daha düşük olmuştur. Her iki numune için de artık yağ ile elde edilen aglomeratların YKV değerleri daha yüksek, kül içerikleri ise daha düşük olmuştur. Karışım numunesi için %18.2 artık yağ konsantrasyonunda elde edilen aglomeratların YKV değerleri %25.21 iken kül içerikleri ise %27.64 olmuştur. En yüksek YKV değeri şlam numunesinden %36.4 artık yağ kullanıldığında elde edilmiş olup bu aglomeratların kül içeriği ise %18.84 ile en düşük kül yüzdesidir.

Yağ konsantrasyonu, yağ aglomerasyonu yönteminde önemli bir parametre olup iyi bir aglomerasyona ulaşmak için hidrofobik kömür yüzeylerinin yağlar ile yeterince kaplanması gerekmektedir yoğunluklu yağların, yüksek viskoziteleri ve yüksek yüzey gerilimleri nedeniyle daha güçlü. şlam numunesinin daha küçük tane boyutunda olduğu dikkate alındığında tüketilen yağ miktarlarının karışım numunesinden fazla olması yüzey alanının fazla olmasıyla izah edilebilir. Yüksek yoğunluklu yağların yüksek viskozite ve yüksek yüzey gerilimleri nedeniyle daha güçlü bağlar oluşturduğu bilinmektedir (Capes, 1991; Yoon, 1991). Gazyağı ve mazot, atık yağa oranla daha düşük yoğunluklu ve düşük viskoziteli oldukları için kömür tanecikleri ile aralarında zayıf hidrokarbon bağlar oluştuğu ve bu nedenle aglomerasyonda atık yağa oranla daha az başarılı olunduğu söylenebilir. Valdes ve Garcia (2006) atık yağ oranındaki artışa bağlı olarak atık kömürün yanabilir kısım veriminin artarak %70-80 arasında değiştiğini ve kül içeriğinin azaldığını kullanılan yağ oranının ise %10-85 arasında olduğunu ifade etmişlerdir.

4.2. pH'ın Yağ Aglomerasyonuna Etkisi

Çalışmanın bu adımında pH'ın karışım ve şlam numunelerinin aglomerasyonuna etkisini belirlemek amacıyla çeşitli pH değerlerinde (3, 5, 7, 9 ve 11) yağ aglomerasyonu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde aglomerasyon süresi 3 dakika, karıştırma hızı 500 dev/dak olarak sabit tutulmuş olup kullanılan yağ miktarı bir önceki deneylerde belirlenen optimum miktarlardır. Elde edilen sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir.



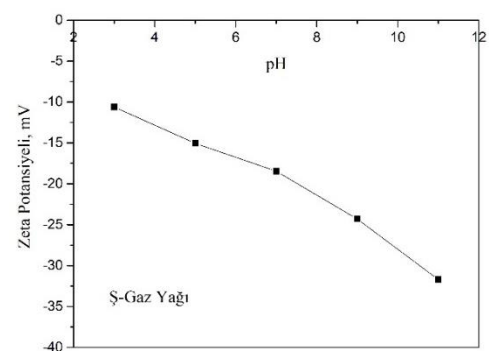
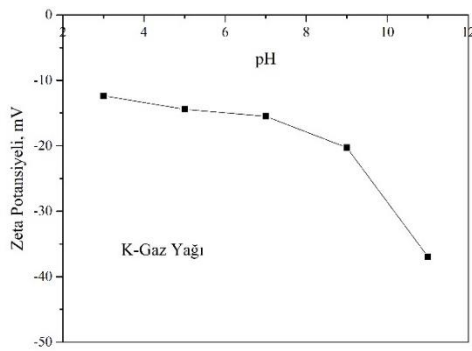
Şekil 4.2. pH'nin yağ aglomerasyonuna etkisi

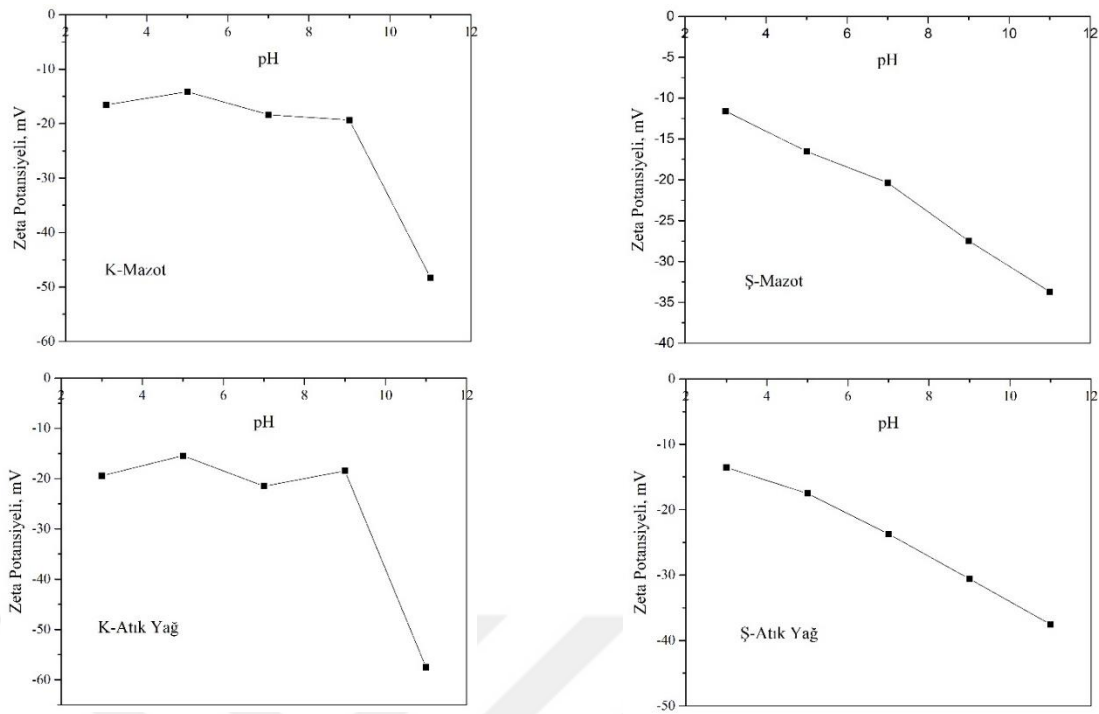
Gazyağı ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre karışım numunesinden pH=9'dan elde edilen aglomeratların en düşük kül içeriği (%27.39) ve en yüksek yanabilir kısım verimine (%23.37) sahip olduğu görülmektedir. Şlam numunesinde de benzer sonuçlara ulaşılmış ve en düşük kül içerikli aglomeratlar en yüksek YKV ile ve pH 3'te elde edilmiştir. Mazot ile yapılan deneylerde pH değişimi ile karışım numunesinden elde edilen aglomeratların kül içeriği çok fazla değişmezken en yüksek YKV değeri %24.92 ile pH 5'te elde edilmiştir. Şlam numunesinde ise karışım

numunesinin aksine YKV değerleri pH ile fazla değişkenlik göstermemiş ancak en düşük kül içerikli aglomeratlar (%27.38) pH 9’da elde edilmiştir.

Atık yağ ile yapılan deneylerde her iki numune için de en iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Karışım ve şlam numuneleri için en uygun pH değerlerinin sırasıyla 7 ve 5 olduğu belirlenmiştir. Bu değerlerde karışım numunesinde elde edilen aglomeratların YKV ve kül içerikleri sırasıyla %28.38 ve %25.39 olurken şlam numunesi için sırasıyla %50.21 ve %18.25’tir. Her iki numunede de pH’ın artması ile aglomeratların kül içerikleri artarken YKV değerleri azalmıştır.

Süspansiyonun pH’ı kömür yüzeylerinin elektriksel şarjını kontrol eden önemli bir parametredir. Bu nedenle bu çalışmada aglomerasyon sonrası süspansiyonun zeta potansiyeli ölçümleri pH’a bağlı olarak yapılmış ve karışım ve şlam numunelerinin yüzey şarjları, yağlar varlığında belirlenmiştir. pH’a bağlı olarak elde edilen zeta potansiyeli değerleri Şekil 4.3’te verilmiştir. Gaz yağı, mazot ve atık yağ için karışım ve şlam numunelerinin zeta potansiyeli eğrileri benzer bir eğilim göstermektedir. Çalışılan tüm pH değerlerinde her iki numune için de yüzeyler negatif şarjlı olmuş ve bu şarjın büyüklüğü özellikle alkali ortamda artmıştır. Yüksek alkali ortamda aglomerasyon işleminin başarısız olması yüksek negatif yüzey şarjlarından dolayı taneleri arası itme kuvvetlerinin fazla olmasıyla açıklanabilir. Düşük pH’larda yanabilir kısım veriminde meydana gelen düşme, kömür yüzeyindeki fonksiyonel grupların iyonlaşmasının azalmasıyla, yağ damlacıklarının non-polar kısmıyla kömür yüzeyi arasındaki etkileşimin azalmasına dayandırılmıştır. Yüksek pH değerlerinde yanabilir kısım verimindeki azalma ise, kömür ve yağların zeta potansiyellerinin negatifliğinin artması nedeniyle elektriksel itme kuvvetlerinin yükselmesi sonucu yağ damlacıklarının kömür yüzeyine yayılımının azalmasına bağlı olarak açıklanmıştır (Şimşek, 2007).



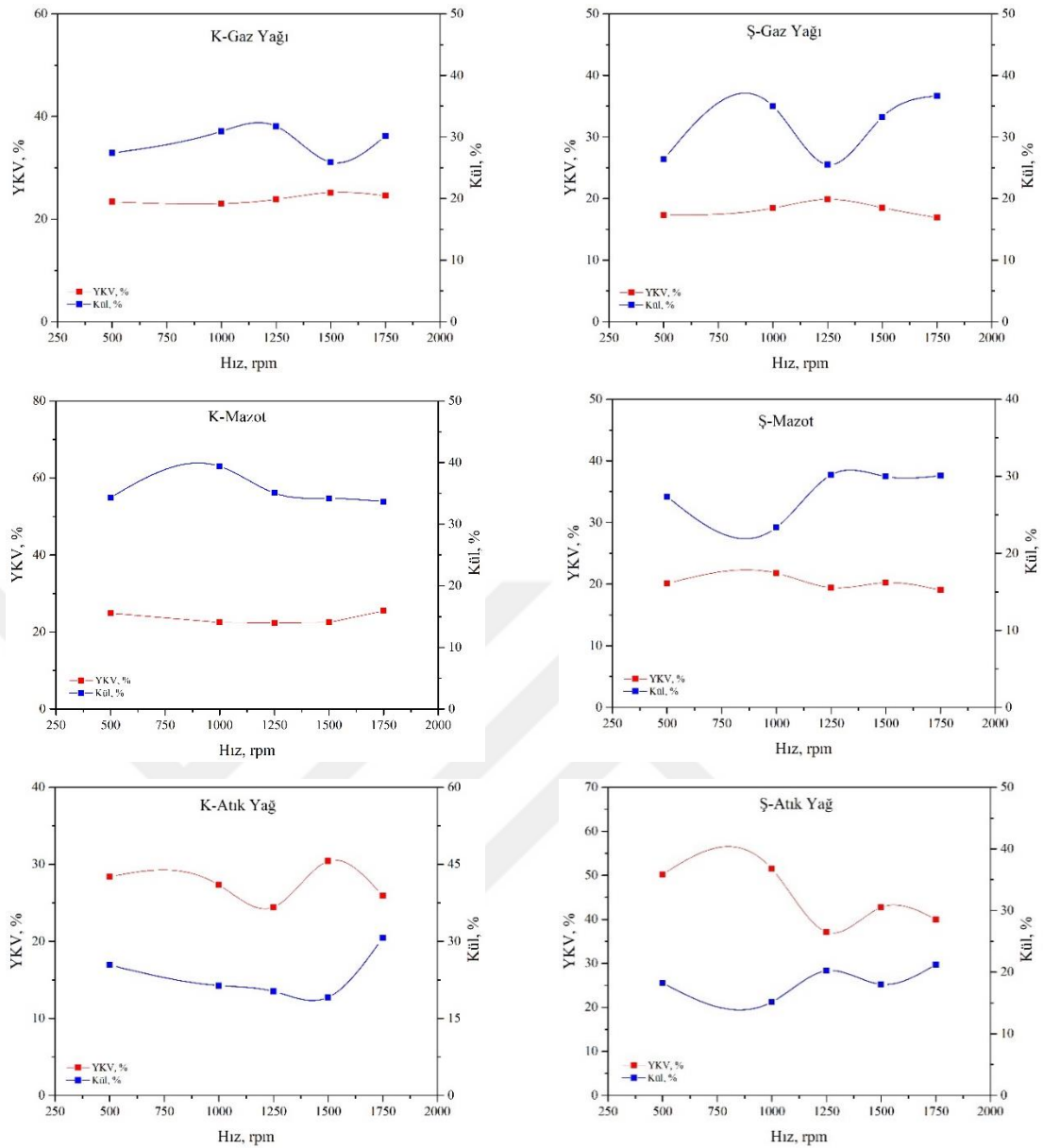


Şekil 4.3. pH'a bağlı olarak zeta potansiyeli değerleri

4.3. Karıştırma Hızının Yağ Aglomerasyonuna Etkisi

Karıştırma hızının yağ aglomerasyonunun başarısına etkisini belirlemek amacıyla farklı hızlarda deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.4'te sunulmuştur. Karışım numunesinin gazyağı ile aglomerasyonu için yapılan deneylerde yağ miktarı %15.8 ve pH=9'da çalışılırken şlam numunesi için yağ konsantrasyonu %23.7 ve pH=3'te çalışılmıştır. Bağlayıcı yağ olarak mazotun kullanıldığı deneylerde karışım numunesi için yağ miktarı %24.6 ve pH değeri 5 olurken şlam numunesi için yağ miktarı %16.4 ve pH=9'da çalışılmıştır. Atık yağ ile yapılan deneylerde ise karışım numunesi için yağ konsantrasyonu %18.2 ve pH=7 olup şlam numunesi için %36.4 yağ kullanılmış ve pH=5'te çalışılmıştır. Tüm deneylerde aglomerasyon süresi 3 dakika olacak şekilde sabit tutulmuştur.

Şekil 4.4'den görüldüğü gibi gazyağının varlığında karıştırma hızının artması, karışım ve şlam numunelerinin YKV değerlerini çok fazla etkilemezken kül içerikleri değişiklik göstermektedir. Karışım numunesinden 1500 dev/dak hızında ve gazyağı ile elde edilen aglomeratların %25.19 ile en yüksek YKV değerine sahip olduğu (kül içeriği ise %25.92) belirlenirken şlam numunesinden gazyağı ile elde edilen en temiz aglomeratlar %25.50 kül içeriği ile 1250 dev/dak'da %19.87 YKV ile kazanılmıştır.



Şekil 4.4. Karıştırma hızının yağ aglomerasyonuna etkisi

Mazot ile karışım numunesiyle yapılan deneylerde de benzer şekilde YKV değerlerinde çok fazla bir değişme olmazken aglomeratların kül içeriklerinde de bir miktar azalma olmuştur. Şlam numunesinin yağ aglomerasyonunun başarısı ise karıştırma hızının artmasıyla azalmış kül içerikleri ise artmıştır. %23.36 kül içerikli aglomeratlar %21.79 YKV ile 1000 dev/dak'da elde edilmiştir. Karışım numunesinin atık yağ ile gerçekleştirilen yağ aglomerasyonunun başarısı, artan karıştırma hızı ile artarken şlam numunesinde azalmıştır. Yüksek karıştırma hızlarında yüzeyleri yağ ile kaplanmış kömür taneciklerinin bir araya gelme olasılığı daha fazla olmakta dolayısıyla yüksek YKV değerlerine ulaşılmaktadır. Karışım numunesinde 1500 dev/dak'da %19.12 kül

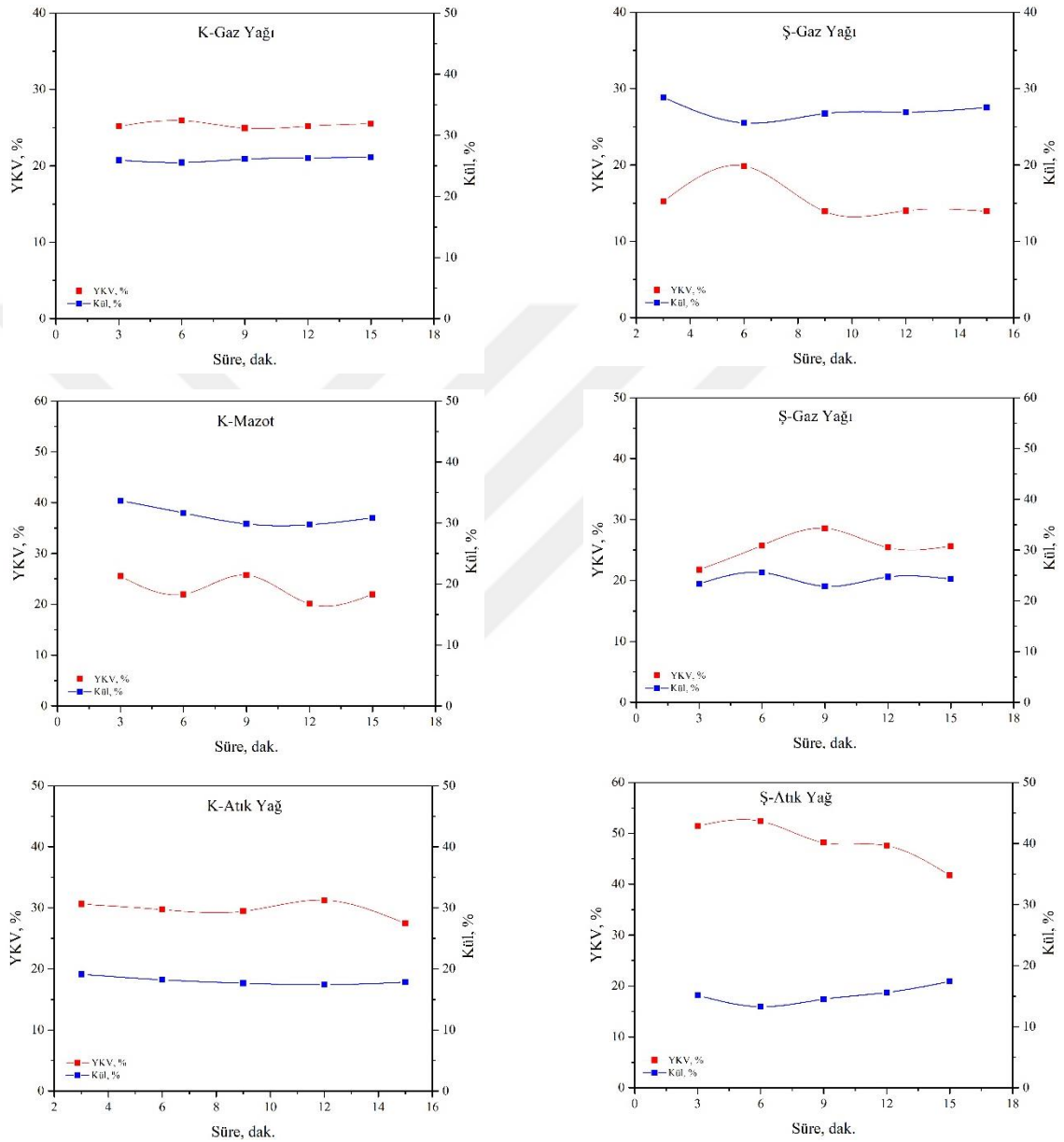
içerikli aglomeratlar %30.43 YKV ile elde edilirken şlam numunesinden atık yağ varlığında 1000 dev/dak hızında %15.15 kül içerikli aglomeratlar %51.45 YKV ile kazanılmıştır.

Karışım ve şlam numunelerinin aglomerasyonuna karıştırma hızının etkisi tüm yağlar ile genel olarak değerlendirildiğinde karışım numunesinde daha yüksek hızlarda iyi bir aglomerasyona ulaşılrken şlam numunesinde daha düşük hızlarda daha temiz aglomeratlar elde edilmiştir. Karışım numunesinin daha büyük tane boyutuna sahip olması dolayısıyla daha yoğun karıştırma hızına ihtiyaç duyulmaktadır. Yavuz (2010) atık motor yağını kullandığı çalışmasında, karıştırma hızının artışına bağlı olarak yanabilir verimin önce azaldığını daha sonra arttığını bulmuştur. Güleç (1999) dizel yağı kullandığı çalışmasında ise karıştırma hızının aglomerasyon işlemi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Karıştırma hızındaki değişiminin kömürün geri kazanım ve kalitesini çok fazla etkilemediğini belirlemiştir.

4.4. Aglomerasyon Süresinin Yağ Aglomerasyonuna Etkisi

Aglomerasyon süresi yağ aglomerasyonunun başarısını etkileyen diğer bir faktördür. Bu etkiyi belirlemek için farklı aglomerasyon sürelerinde (3, 6, 9, 12 ve 15 dakika) aglomerasyon deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.5'te sunulmuştur. Deneylerde yağ konsantrasyonu, pH ve karıştırma hızı için daha önceki deneylerde belirlenen optimum koşullarda çalışılmıştır. Karışım numunesinin gaz yağı ile aglomerasyonunda YKV ve kül içeriklerinde belirgin bir değişme gözlenmezken şlam numunesinde sürenin 6 dakikaya çıkarılmasıyla elde edilen aglomeratların YKV değerinde belirgin bir artış olmuştur. Her iki numune için de 6 dakikalık aglomerasyon süresi ile en yüksek YKV (karışım ve şlam numuneleri için sırasıyla %25.92 ve %19.87) ile en düşük kül içerikli aglomeratlar (karışım ve şlam numuneleri için sırasıyla %25.55 ve %19.87) elde edilmiştir. Mazot ile yapılan deneylerde de benzer şekilde en iyi sonuçlara her iki numune için 9 dakikalık bir aglomerasyon süresinde ulaşılmıştır. Atık yağ kullanılan yağ aglomerasyonu çalışmalarında ise en iyi sonuçlara karışım numunesi için 12 dakikada ulaşılrken şlam numunesinde 6 dakikalık bir aglomerasyon süresi yeterli olmuştur. İyi bir yağ aglomerasyonuna ulaşmak için süspansiyonun aglomerasyon süresinin belirlenmesi önemlidir. Bu süre çok kısa olduğunda kömür taneleri bir araya gelmek için yeterli zaman bulamazlar ve dolayısıyla YKV değerleri düşük olur. Aglomerasyon süresinin çok uzun tutulması durumunda ise oluşan aglomeratların

içerisine inorganik maddelerin girmesi ve dolayısıyla kül içeriğini arttırmasına neden olmaktadır. Şimşek (1999) çalışmasında, gazyağı kullanarak yaptığı aglomerasyon deneylerinde süre arttıkça verimin de arttığını, kül içeriklerinin ise azaldığını ortaya koymuştur.



Şekil 4.5. Aglomerasyon süresinin yağ aglomerasyonuna etkisi

4.5. Yağ Aglomerasyonuna Dispersantların Etkisi

Literatürde minerallerin yağ aglomerasyonu davranışının belirlenmesi üzerine oldukça fazla çalışma olmasına rağmen dispersantların bireysel ve sıralı etkileri üzerine herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışmanın bu aşamasında dispersant olarak

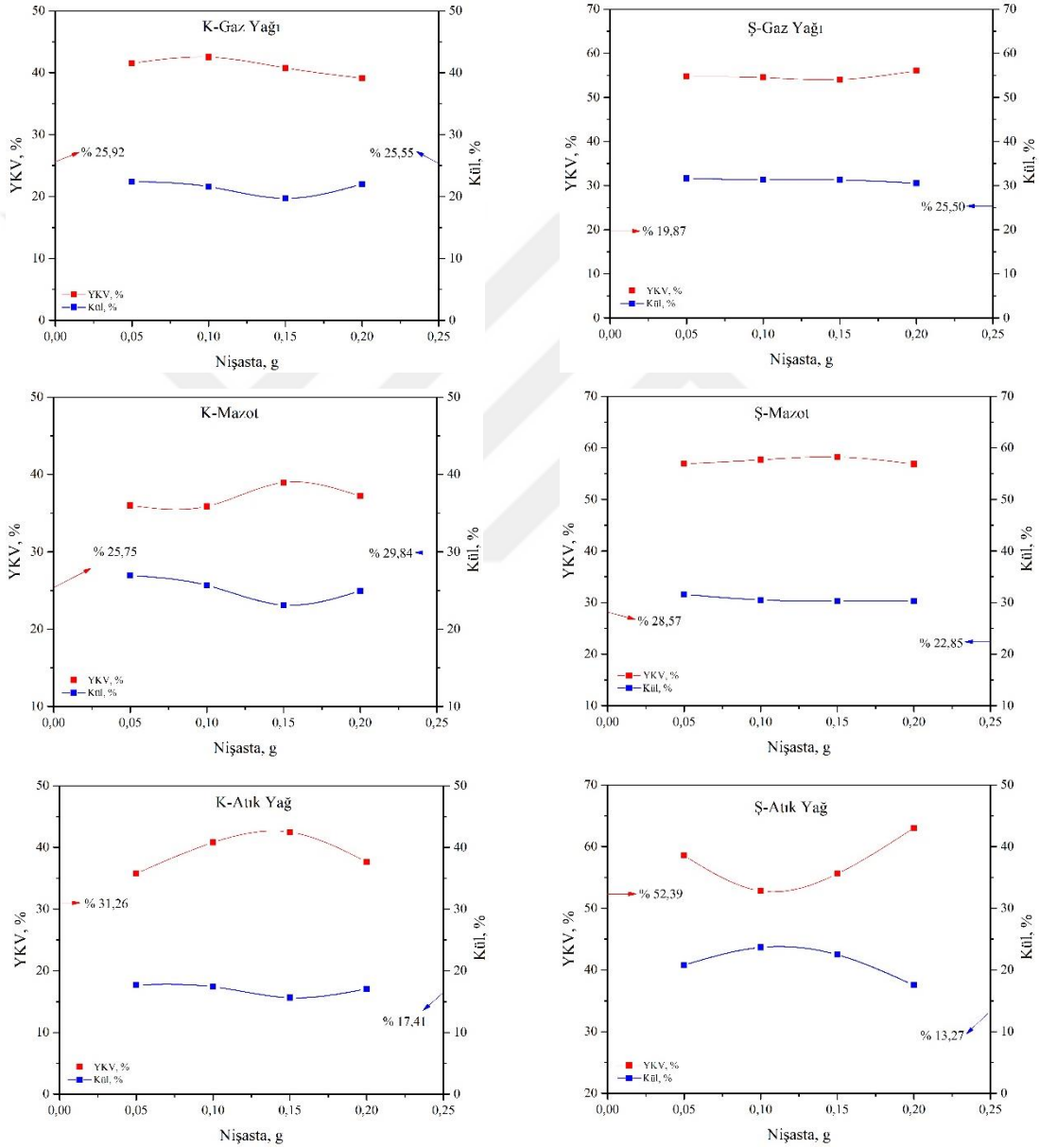
seçilen sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve nişastanın (buğday) dağıtıcı özelliklerinin yağ aglomerasyonuna etkileri araştırılmıştır. Daha önceki belirlenen optimum koşullar altında dispersant ilavesi, pH ayarlamasından sonra yağ ilavesinden önce sisteme dahil edilmiştir. Öncelikle dispersantlar çözeltiye bireysel olarak ilave edilerek aglomerasyon başarısına etkileri incelenmiş ve dispersant ilave edilmeden elde edilen aglomeratların YKV değerleri ve kül içerikleriyle karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Daha sonra dispersantların sıralı ilavelerinin yağ aglomerasyonunun başarısına olabilecek katkısı araştırılmıştır. Na_2SiO_3 süspansiyona ağırlıkça %1'lik çözelti halinde, nişasta ise katı halde ilave edilmiştir.

4.5.1. Nişasta konsantrasyonunun yağ aglomerasyonuna etkisi

Nişasta konsantrasyonunun karışım ve şlam numunelerinin yağ aglomerasyonuna etkisi çeşitli konsantrasyonlarda incelenmiş ve ulaşılan sonuçlar Şekil 4.6'da verilmiştir. Numunelerin nişasta kullanılmadan gerçekleştirilmiş olan yağ aglomerasyonu deneylerinden elde edilen aglomeratlarının YKV değerleri ve kül içerikleri, grafikler üzerinde ayrıca belirtilmiştir. Şekil 4.6 incelendiğinde karışım (kül içeriği %38.3) ve şlam (kül içeriği %72.6) numuneleri için gazyağı, mazot ve atık yağ ile yapılan tüm aglomerasyon deneylerinden elde edilen aglomeratların kül içeriklerinin azaldığı ve ortalama bir YKV değeriyle elde edildiği görülmektedir. Deneylerde en yüksek YKV ve en düşük kül içeriğinin elde edildiği nişasta miktarları en iyi sonuçlar olarak kabul edilmiştir. Bu değerler karışım numunesi için gazyağı, mazot ve atık yağ kullanılan deneylerde sırasıyla 0.10, 0.15 ve 0.15 gram iken şlam numunesi için sırasıyla 0.20, 0.15 ve 0.20 gramdır.

Şekil 4.6'daki değerler daha önceki deney sonuçları ile karşılaştırıldığında; Karışım numunesi için gazyağı, mazot ve atık yağ ile yapılan aglomerasyon deneylerinin tamamında nişasta ilavesiyle, aglomeratların kül içeriklerinin azaldığı (%10-24) ve YKV değerlerinin arttığı (%33-64) görülmektedir. Atık yağın kullanıldığı deneylerde aglomeratların kül içeriğindeki bu azalış çok belirgin olmamıştır. Nişasta konsantrasyonunun belirli bir değerine kadar, nişasta konsantrasyonunun artması aglomerasyon başarısını da arttırmıştır. Nişastanın mineral yüzeylerine güçlü adsorpsiyonu neticesinde dağıtıcı özelliği (Poraj-Kozminski ve ark., 2007; Abdel-Khalek ve ark., 2012) nedeniyle seçimlilik artmış dolayısıyla aglomeratların kül içerikleri azalarak daha temiz aglomeratlar elde edilmiştir. Aglomeratların YKV değerlerinin de artması, nişastanın varlığının yağ aglomerasyonunun başarısını arttırdığını

kanıtlamaktadır. Ancak şlam numunesinde durum biraz daha farklıdır. Çalışılan tüm yağlarda nişasta varlığında elde edilen aglomeratların YKV değerleri önemli ölçüde artarken (%20-182) kül içerikleri de artmaktadır. Bu durum, kazanılan aglomeratların içerisine büyük oranda inorganik minerallerin de karıştığını dolayısıyla YKV değeri artarken aynı zamanda kül içeriği değerlerinin de arttığını yani seçimliliğin azaldığını göstermektedir.

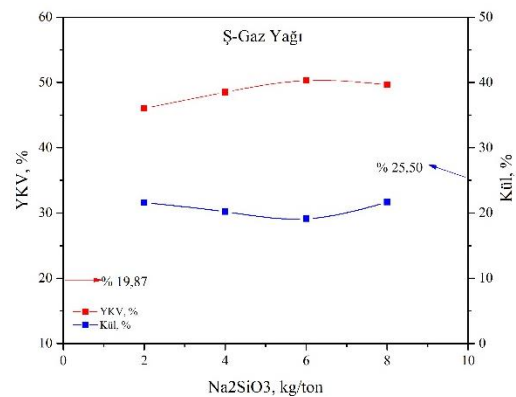
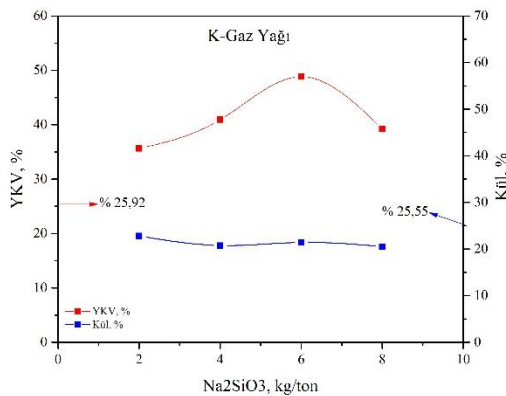


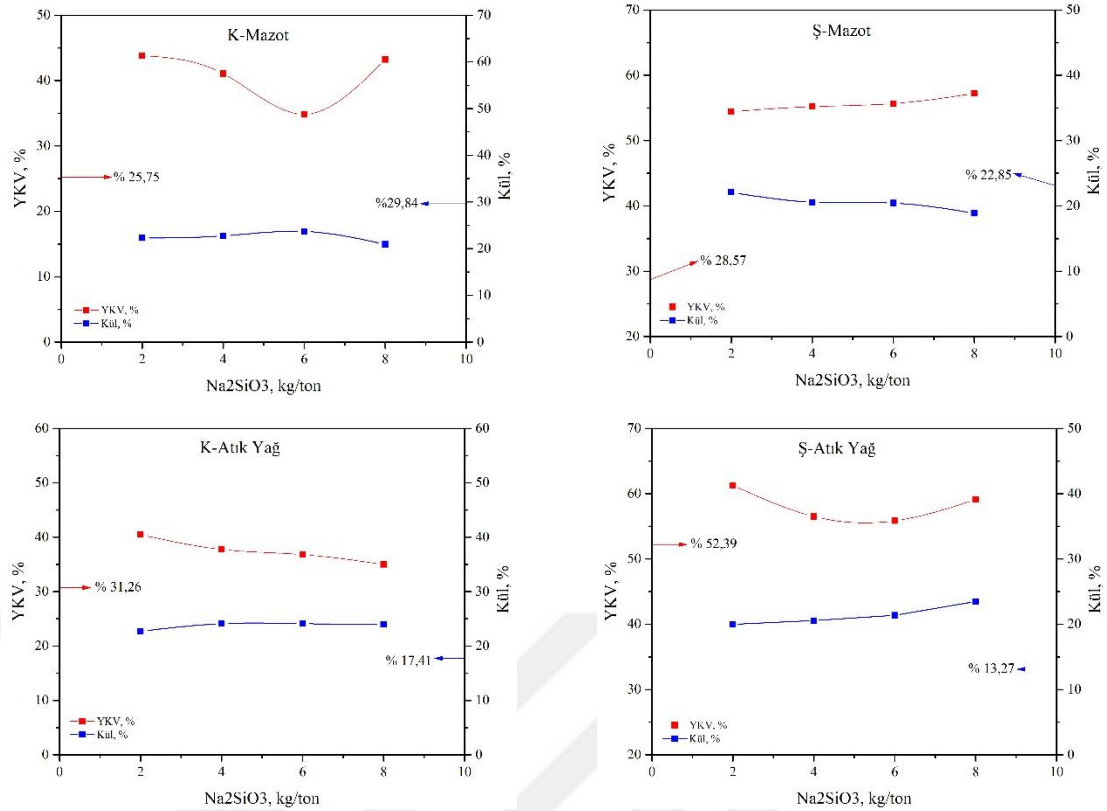
Şekil 4.6. Nişasta konsantrasyonunun yağ aglomerasyonuna etkisi

4.5.2. Sodyum silikat konsantrasyonunun yağ aglomerasyonuna etkisi

Na_2SiO_3 konsantrasyonunun karışım ve şlam numunelerinin yağ aglomerasyonuna etkisi farklı konsantrasyonlarda incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.7’de verilmiştir. Numunelerin Na_2SiO_3 kullanılmadan gerçekleştirilmiş olan yağ aglomerasyonu deneylerinden elde edilen aglomeratlarının YKV değerleri ve kül içerikleri grafikler üzerinde de ayrıca belirtilmiştir. Karışım (kül içeriği %38.3) ve şlam (kül içeriği %72.6) numuneleri için gazyağı, mazot ve atık yağ ile yapılan tüm aglomerasyon deneylerinden elde edilen aglomeratların kül içeriklerinin azaldığı ve ortalama bir YKV değeriyle elde edildiği görülmektedir. Deneylerde en yüksek YKV ve en düşük kül içeriğinin elde edildiği Na_2SiO_3 miktarları en iyi sonuçlar olarak kabul edilmiştir. Bu değerler her iki numune için de gazyağı, mazot ve atık yağ kullanılan deneylerde sırasıyla 6, 8 ve 2 kg/ton’dur.

Şekil 4.7’deki değerler daha önceki deney sonuçları ile karşılaştırıldığında; Na_2SiO_3 varlığında her iki numune için de çalışılan tüm yağlarda elde edilen aglomeratların YKV değerlerinde artış (%17-153) olurken atık yağ ile yapılan deneyler haricinde kül değerlerinde de bir azalış olmuştur (%17-30). Bu sonuçlar nişasta ile elde edilen sonuçlar ile uyum içerisindedir. Nişastayla elde edilen sonuçlara benzer olarak, aglomeratların kül içeriklerinin azalması daha temiz aglomeratların oluştuğuna dolayısıyla Na_2SiO_3 ’ün dağıtıcı etkisinin de seçiciliği arttırdığı söylenebilir. YKV’deki artış ise yağın, süspansiyonda daha serbest haldeki kömür taneciklerinin yüzeylerine daha rahat yayılabildiği dolayısıyla daha fazla kömür taneciğini bir araya getirebildiği şeklinde yorumlanabilir.





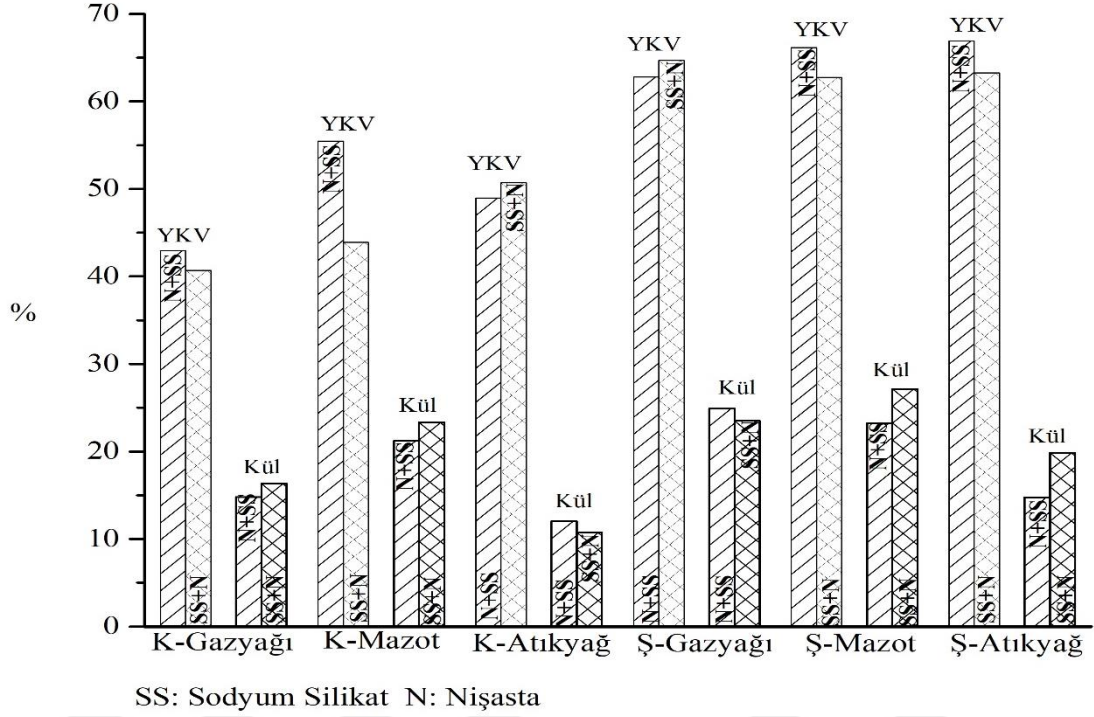
Şekil 4.7. Soydam silikat konsantrasyonunun yağ aglomerasyonuna etkisi

4.5.3. Dispersantların sıralı ilavesinin yağ aglomerasyonuna etkisi

Çalışmanın bu kısmında dispersantların süspansiyona sıralı ilave edildiklerinde kömür numunelerinin yağ aglomerasyonuna etkileri araştırılmıştır. Literatürde minerallerin yağ aglomerasyonu davranışının belirlenmesi üzerine oldukça fazla çalışma olmasına rağmen dispersantların ve sıralı etkileri üzerine herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle çalışmanın bu aşamasında nişasta ve Na₂SiO₃ birbiri arkasına sıralı olarak kullanılmış ve ulaşılan sonuçlar Şekil 4.8’de verilmiştir. Deneylede kullanılan nişasta ve Na₂SiO₃ miktarları bireysel halde kullanıldıkları deneylerde ulaşılan en iyi sonuçların elde edildiği değerlerdir. Şekil 4.8 incelendiğinde karışım numunesi için en yüksek YKV değerine (%55.47), mazot varlığında nişasta + sodyum silikat sıralı ilavesiyle ulaşılmıştır. Bu aglomeratların kül içeriği ise %21.20’dir. Yine karışım numunesi için en düşük kül içerikli aglomeratlar (%10.77) ile atık yağ varlığında ve sodyum silikat + nişasta sıralı dispersant ilavesiyle elde edilmiştir. Ancak bu aglomeratların YKV değeri %50.70 olmuştur.

Şlam numunesi için ise en yüksek YKV değerine (%66.90) atık yağın kullanıldığı deneylerde nişasta + sodyum silikatın sıralı ilavesiyle ulaşılmıştır. Bu aglomeratlar aynı zamanda şlam numunesinden elde edilen en düşük kül içerikli (%14.74) aglomeratlardır.

Deneyler sonrasında 4128.0 kcal/kg kaloriye sahip karışım numunesinin kalorifik değeri; gazyağı ile 5156.2, mazot ile 4712.1 ve atıkyağ ile ise 4142.8 kcal/kg 'a yükseltilmiş, 1185.6 kcal/kg kalori değerli şlam numunelerinden gazyağı ile 3751.2, mazot ile 3942.4 ve atık yağ ile 6738.1 kcal/kg kalorifik değerli aglomeratlar elde edilmiştir.



Şekil 4.8. Nişasta ve sodyum silikatın sıralı ilavesinin yağ aglomerasyonuna etkisi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Tunçbilek/Kütahya bölgesinden temin edilen iki farklı lavvar artık numunesinin zenginleştirilmesi için yağ aglomerasyonu yöntemi uygulanmıştır. Çalışılan atık kömür numuneleri karışım ve şlam olarak adlandırılmıştır. Deneylerde bağlayıcı yağ olarak gazyağı, mazot ve evsel atık kızartma yağı kullanılmıştır. Yağ konsantrasyonu, pH, karıştırma hızı, aglomerasyon süresi, dispersant ilavesi (bireysel ve sıralı) gibi birtakım parametrelerin etkileri incelenmiş olup aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Karışım numunesinin kalorifik değeri ve kül içeriği sırasıyla 4128.0 kcal/kg ve %38.3 iken bu değerlerin şlam numunesi için sırasıyla 1185.6 kcal/kg ve %72.6 olduğu belirlenmiştir.

Karışım ve şlam numunelerinin nem içerikleri ise sırasıyla %25.05 ve %18.45'dir. Süspansiyonun doğal pH'taki zeta potansiyeli değeri değerleri karışım numunesi için (-15.37) mV ve şlam numunesi için (-17.45) mV'tur.

Karışım ve şlam numuneleri için gazyağı ve mazot konsantrasyonunun artmasıyla aglomeratların YKV değerleri ve kül içerikleri çok fazla değişmemiş olup atık yağda konsantrasyonun artmasıyla daha düşük kül içerikli aglomeratlar daha yüksek YKV değerleri ile kazanılmıştır. Karışım numunesi için en düşük kül içerikli aglomeratlar (%27.64) en yüksek YKV (%25.21) değeriyle %18.2 atık yağ konsantrasyonunda elde edilmiştir. Şlam numunesi için ise %36.4 atık yağ ile %18.84 kül içerikli aglomeratlar %47.17 YKV değeri ile kazanılmıştır. Her iki numunede de atık yağ ile daha temiz aglomeratlar elde edilmiştir.

Karışım numunesinden en düşük kül içerikli (%25.39) aglomeratlar atık yağ ile pH=7'de kazanılırken şlam numunesinde ise yine atık yağ ile pH=5'te ulaşılmıştır. pH=5'te aglomeratların YKV ve kül içeriği sırasıyla %50.21 ve %18.25 olmuştur. Alkali ortamda her iki numuneden elde edilen aglomeratların kül içerikleri azalırken YKV değerleri de düşmüştür.

Karıştırma hızının aşırı artması aglomeratların kül içeriğini arttırırken YKV değerlerini de düşürmüştür. Karışım numunesinde iyi bir aglomerasyona ulaşmak için daha yüksek hızlara ulaşmak gerekirken şlam numunesinde daha düşük hızlarda elde edilen aglomeratların kül içerikleri daha düşük olmuştur.

Aglomerasyon süresinin çok uzun tutulması aglomeratların kül içeriğinin bir miktar artmasına neden olmuştur.

Nişasta ve sodyum silikatın dağıtıcı etkisi incelenmiş ve karışım ve şlam numunelerinin yağ aglomerasyonuna olumlu etkileri belirlenmiştir. Nişasta ilavesiyle yapılan aglomerasyon sonrasında karışım numunesinden elde edilen aglomeratların kül içeriklerinde %10-24 oranında bir azalma sağlanırken YKV değerlerinde ise %33-64 oranında bir artış olmuştur. Şlam numunesinde ise aglomeratların YKV değerlerinde %20-182 bir artış sağlanırken kül içerikleri ise artmıştır. Nişasta ile karışım numunesinde seçimlilik artarken şlam numunesinde verim artmıştır. Sodyum silikat ile karışım ve şlam numunelerinden elde edilen aglomeratların YKV değerleri %17-153 oranında artarken kül içerikleri de %17-30 oranında azalmıştır (atık yağ kullanılan deneyler hariç). Sodyum silikat ile gazyağı ve mazot kullanıldığında seçimlilik artarken atık yağda verim artmıştır.

Karışım numunesinden yüksek YKV değeri ile aglomerat eldesi, bağlayıcı yağ olarak mazot kullanılması ve dispersantların nişasta + sodyum silikat sırasıyla ilave edilmesiyle mümkündür. Düşük kül içerikli aglomerat eldesi ise atık yağ ile sodyum silikat + nişasta sıralı dispersant ilavesiyle sağlanabilir. Şlam numunesinden yüksek YKV ve düşük kül içerikli aglomerat eldesi atık yağın kullanılması ve nişasta + sodyum silikatın sıralı ilavesiyle mümkündür.

KAYNAKLAR

- Abdel-Khalek N.A., Yassin K.E., Selim K.A., Rao K.H., Kandel A.H., 2012, Effect of starch type on selectivity of cationic flotation of iron ore, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 121, 98–102.
- Akar, A. H., 1985, Aglomerasyon flotasyonu ve antimonit cevherlerinin zenginleştirilmesinde Etkinliği. *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi*, Ankara, 180-194.
- Almeida, V.F., García-Moreno, P.J., Guadix, A., Guadix, E.M., 2015. Biodiesel production from mixtures of waste fish oil, palm oil and waste frying oil: Optimization of fuel properties, *Fuel Processing Technology*, 133, 152-160.
- ASTM, 1983, Annual Book of ASTM Standards, *American Society for Testing Materials*.
- ASTM D 3173-03, 2010, Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal, 5.
- ASTM D 3173-04, 2010, Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal, 5.
- ASTM D 3173-10a, Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke from Coal, 14.
- Atak, S., Ateşok, G. ve Yıldırım, İ., 1991, Kömür hazırlamada yenilikler, *Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri*, İstanbul, 79-91.
- Ateşok, G., 1986, Kömür Hazırlama, *İTÜ Maden Fakültesi*, İstanbul.
- Aykul, H., Akçakoca, H. ve Bentli, İ., 2004, Seyitömer linyit işletmesi (sılı) kömürlerinin beklemeye bağlı olarak ısı değer değişimi. *Türkiye 14. Kömür Kongresi*. Zonguldak, Bildiri Kitapçığı, 301-309.
- Bogensneider, B. ve Jasulaitis, W., 1977, The Olifloc process for the dewatering and cleaning of ultrafine slurries in coal preparation, *15th Biennial Conference, Institute of Briquetting and Agglomeration*, 13-24.
- Canpolat, L., 2003, Taşkömürünün yağ aglomerasyonu, flotasyonu ve yağ aglomerasyonu-flotasyon yöntemiyle zenginleştirilebilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas.
- Capes, C., 1980, Principles and applications of size enlargement in liquid systems, *Fine Particles Processing*, 2, 1442-1462.
- Capes, C. ve Jonasson, K., 1989, Application of oil–water wetting of coals in beneficiation, *Interfacial Phenomena in Coal Technology*, New York, p. 115-156.

- Capes, C.E.. 1991. Oil agglomeration process principles and commercial application for fine coal cleaning. *Coal Preparation*, 4: 1021-1029. Littleton: SME.
- Cebeci, Y. ve Canpolat, L., 2001. Ukrayna kömürünün yağ aglomerasyonu için karakteristik eğrisinin belirlenmesi, *Madencilik Dergisi*, Mart, 40, 1, 3-14
- Cebeci, Y., Ulusoy, U. ve 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.
- Çuhadaroğlu, D. ve Özdağ, H., 1996, Flotation and agglomeration studies for beneficiation of -0,5 mm coal of zonguldak washery, *Changing Scopes in Mineral Processing*, 475-479.
- Demirel, H. ve Özdağ, H., 1977, Küresel aglomerasyon yöntemindeki gelişmeler *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 5. Kongresi*, Maden Mühendisleri Odası, Ankara.
- Doymuş, K., 1997, Bazı Türk linyitlerinin seçimli yağ aglomerasyonu ile temizlenebilirliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi*, Erzurum, 121.
- DPT, 2009, Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu, Ankara, Devlet Planlama Teşkilatı, *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu*, p.28-52
- EİGM, 2018, *2017 yılı ulusal enerji denge tabloları* [online], Ankara, <https://www.eigm.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 19 Kasım 2018].
- Garcia, A. B., Vega, J. G. ve Martinez-Tarazona, M. R., 1995, Effects of oil concentration and particle size on the cleaning of Spanish high-rank coals by agglomeration with n-heptane, *Fuel*, 74 (11), 1692-1697.
- Güleç, C., 1999. Küresel yağ aglomerasyon tekniği ile kömürden mineral madde uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Gülsuna, G., 2007, Linyit kömürü ara ürününün flotasyon ile zenginleştirilmesinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, s. 61.
- Gürses, A., Doymuş, K., Doğar, Ç. ve Yalçın, M., 2003, Investigation of agglomeration rates of two Turkish lignites, *Energy Conversion and Management*, 44 (8), 1247-1257.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2008, Azdavay kömürünün yağ aglomerasyonu ve bazı önemli çalışma parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 47 (4), 3-11.

- Hisham, S., Kadirgama, H., Ramasamy, D., Noor M.M., Amirruddin, A.K., Najafi, G., Rahman, M.M., 2017. Waste cooking oil blended with the engine oil for reduction of friction and wear on piston skirt, *Fuel*, 205, 247-261.
- IEA, 1985, Coal Information Report, *International Energy Agency - OECD*
- IEA, 2018, Coal Information 2017, *International Energy Agency - OECD*
- Kaya, Ö., 1999, Linyit kömürünün yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesinde pH ve değişik tuzların etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi*, Sivas, 49.
- Keller Jr, D. ve Burry, W., 1987, An investigation of a separation process involving liquid water coal systems, *Colloids and Surfaces*, 22 (1), 37-50.
- Kemal, M., Semerkant, D., (1984), "Türkiye linyit kömürü potansiyeli ve kullanım olanağı", *Türkiye 4. Kömür Kongresi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Zonguldak, s. 17 – 32.
- Kemal, M., 1991, Linyit kömürü değerlendirilmesi ve kullanımında kömür özelliklerinin etkileri, *Kömür Teknolojisi ve Kullanım Semineri*, Türkiye Kömür İşletmeleri.
- Kemal, M. ve Arslan, V., 1999, Kömür teknolojisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, İzmir, p. 1-373.
- Kılınç, E., 2000, Toz kömürlerin yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 89.
- Kural, O., 1991, Kömür, *Kurtiş Matbaası*, İstanbul.
- Mehrotra, V., Sastry, K. ve Morey, B., 1983, Review of oil agglomeration techniques for processing of fine coals, *International Journal of Mineral Processing*, 11 (3), 175-201.
- Mervit, R. D. ve Roy, D., 1986, Coal exploration, *Mine Planning and Development*.
- MTA, 2018, MTA 2017 Yılı Faaliyet Raporu, *Maden Tetkik Arama*, Ankara.
- Nicol, S. ve Swanson, A., 1979, Ultrafine coal recovery from preparation plant tailings, *Proc., VIII International Coal Preparation Congress*, p.125-136
- Özkan Şafak G., 2015. Cevher hazırlama yöntemleri, *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, 39.
- Özpeker, I., 1991, Kömür oluşumu petrografisi ve sınıflandırılması, 8-9.
- Petela, R., Ignasiak, B. ve Pawlak, W., 1995, Selective agglomeration of coal: analysis of laboratory batch test results, *Fuel*, 74 (8), 1200-1210.

- Pişkin, S., 1988, Kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri, *Kömür Kimyası ve Teknolojisi*, s. 59-88.
- Poraj-Kozminski A., Hill R.J., Theo G.M. van de Ven., 2007, Flocculation of starch-coated solidified emulsion droplets and calcium carbonate particles, *Journal of Colloid and Interface Science*, 309, 99–105.
- Rigby, G. ve Yoshinaga, M., 1985, Flow properties and utilization prospects for de oiled coal agglomerates produced by oil agglomeration, *The Broken Hill Proprietary Company Limited Central Research Laboratories*, 867-868.
- Saripalli, G. R., Griffin, R.A. ve Arnold, D.W., 1995. Fate of trace metals during agglomeration of blue creek coals with used motor oil, *Hazardous Waste & Hazardous Materials*, 12, 2, 133-148.
- Shen, M., 1999, Development and scale-up of particle agglomeration processes for coal beneficiation, PhD. Thesis, *Iowa State University*, Ames, Iowa, p.167.
- Shen, L., Min, F., Liu, L., Zhu, J., Xue, C., Cai, C., Zhou, W., Wang, C., 2019. Application of gaseous pyrolysis products of the waste cooking oil as coal flotation collector, *Fuel*, 239, 446-451.
- Şahbudak, 1998. Taşkömürün yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesinde değişik ön işlemlerle yağ tüketiminin azaltılmasının incelemesi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 61.
- Şahinoğlu, E., 2006, Müzret (Artvin-Yusufeli) kömürünün yağ aglomerasyonu ile temizlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon, 84.
- Şimşek, S., 1999, Taşkömürünün yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesinde bazı işletme parametrelerinin etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi*, Sivas, 64.
- Şimşek, S., 2007. Farklı kömürlerin flotasyon ile zenginleştirilmesinde klasik flotasyon yağları ile bitkisel kökenli yağların performanslarının karşılaştırılması, Doktora Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas, 64.
- TÇMB, 2018, *Aylık veriler* [online], <https://www.tcma.org.tr/tr/istatistikler/aylik-veriler> [Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2019].
- Tefek, M., 1989, Selektif flokulasyon ile linyitlerin pritik kükürttten temizlenmesi, *Türkiye Madencilik Kongresi*. Ankara, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 367-378.
- TKİ, 2009, Kömür sektör raporu (liniyit), *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- TKİ, 2018, TKİ 2017 yılı faaliyet raporu, *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü*, Ankara.

- Toprak, S., 2008, *Kömür nedir?* [online], Ankara, <https://www.enerji.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 08 Nisan 2019].
- Uçbaş, Y. ve Hoşten, Ç., 1989. Zonguldak taş kömürleri üzerinde yağ aglomerasyonu çalışmaları, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, s. 355-366.
- Ünal, İ., 1999, Kömürün yağ aglomerasyonu ve ekstraksiyon çarının iyileştirilmesi, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Ünal, İ., Aktaş, Z. ve Olcay, A., 2000. Bitümlü kömür ve linyitin yağ aglomerasyonu, *Türkiye 12. Kömür Kongresi*, Zonguldak, s. 251-260.
- Ünalın, G., 2010, Kömür jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, p. 1-556.
- Valdes, A. F. ve Garcia, A. B., 2006. On the Utilization of Waste Vegetable Oils (WVO) as Agglomerants to Recovery Coal From Coal Fines Cleaning Wastes (CFCW), *Fuel*, 85, 607-614.
- Valdes, A. F., Gonzales- Azpiroz, M. D., Blanco, C. G. ve Garcia, A. B., 2007. Experimental prediction of the agglomeration capability of waste vegetables oils (wvo) in relation to the recovery of coal from coal fines cleaning wastes (CFCW), *Fuel*, 86, 1345-1350.
- Van Krevelen, D. W., 1993, Coal: Typology, Physics, Chemistry, Constitution, *Elsevier Amsterdam*, p.112-121.
- Vargas, E.M., Neves, M.C., Tarelho, L.A.C., Nunes, M.I., 2019, Solid catalysts obtained from wastes for fame production using mixtures of refined palm oil and waste cooking oils, *Renewable Energy*, 136, p. 873 – 883.
- Wang, Q., Kashiwagi, N., Apaer, P., Chen, Q., Wang, Y. ve Maezono, T., 2010. Study on coal recovery technology from waste fine chinese coals by a vegetable oil agglomeration process, *The Sustainable Word*, p. 142, 331-342.
- Warren, L. J., 1975, Shear-flocculation of ultrafine scheelite in sodium oleate solutions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 50 (2), p. 307-318.
- Yavuz, M., 2010. Kömürün yağ aglomerasyonu yöntemi ile temizlenmesinde atık motor yağlarının kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 64.
- Yoon, R. H., 1991. Advanced coal cleaning, *Coal Preparation Book, Part:2*, p. 966-1005.
- Zuiderweg, F. ve Van Lookeren Campagne, N., 1968, Pelletizing of soot in waste water of oil gasification plants, The Shell Pelletizing Separator, *Chem. Eng.(London)*, p. 220, 223-227.
- Xie, W., Li, R., Lu, X., 2015. Pulsed ultrasound assisted dehydration of waste oil, *Ultrasonics Sonochemistry*, 26, p. 136-141.

Xu, W., Herz, W. J., Arnold, D. W. ve Alderman, J. K., 1991, Oil agglomeration of blue creek coal, *Journal of Coal Quality*, 10, 2, 61-66



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Güldane NACAĞ
Uyruđu : T.C.
Dođum Yeri ve Tarihi : Ankara / 11.10.1988
Telefon : + (90) 546 960 1906
E-Posta : guldane.s@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İli	Bitirme Yılı
Lise	: Bařkent Anadolu Lisesi /Ankara	2006
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi / Konya	2015
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi / Konya	2019
Doktora	: -	

İŐ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015	Sistem İnşaat Ltd. Őti.	Maden Mühendisi
2016	Yılka İnşaat Ltd. Őti.	Maden Mühendisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Düzyol S., Nacak G., 2018, A comparative study of operating parameters affecting oil agglomeration of coal for different feed sizes, *International Congress on Energy Research*, Alanya / Turkey, p.129-138.