



Ultrasonik Emülsifikasyonun Kömürün Yağ Aglomerasyonuna Etkisi

Effect of Ultrasonic Emulsification on Oil Agglomeration of Coal

Ercan Şahinoğlu^{1*}

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, ercansahinoglu@ktu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8881-2553>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 20 Mart 2024
Revizyon 26 Eylül 2024
Kabul 4 Kasım 2024
Online 23 Aralık 2024

Anahtar Kelimeler:

Kömür, Yağ Aglomerasyonu, Atık Yağ, Ultrasonik Emülsifikasyon

ÖZ

Son yıllarda, kömür madenciliği teknolojisi büyük ölçüde mekanize edilmiş, bu da üretilen kömürde önemli oranda ince kömür içeriğine neden olmuştur. İnce kömürlerde temizlenmeden doğrudan kullanıldığında ciddi hava kirliliğine ve katı atıklara yol açarak çevre için büyük bir risk oluşturabilir. Bu nedenle, ince kömürün kullanılmadan önce temizlenmesi çok önemlidir. Yağ aglomerasyonu, ince boyutlu kömürlerin temizlenmesinde kullanılan yöntemlerden biridir. Ancak, bu yöntemde kullanılan yağ miktarının fazla olması nedeniyle yöntem genellikle ekonomik olarak uygun görülmemektedir. Bu sorunu çözmek için, yöntemde bağlayıcı olarak kullanılacak yağın sisteme emülsifiye edilerek verilmesi veya bağlayıcı olarak atık yağların kullanılması olabilir. Yağların sisteme emülsifiye edilerek verilmesi yöntemde kullanılan yağ miktarını azaltabilir. Böylelikle yöntemin en büyük dezavantajı olan yağ maliyeti azaltılabilir. Son yıllarda yağların emülsifikasyonunda ultrasonik dalgalar kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, çok ince boyutlu yüksek kül-kükürt içerikli kömür bitkisel atık yağ ile aglomerasyon işlemine tabi tutulmuştur. Atık yağ emülsifiye edilerek ve emülsifiye edilmeden aglomerasyon deneyleri yapılmış olup elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ultrasonik cihazla emülsifiye edilen atık yağ (%10 yağ miktarı) ile aglomerasyon deneyi yapıldığında en yüksek yanabilir verim değeri %93,46 olarak elde edilmiştir. Atık yağ emülsifiye edilmeden yapılan aglomerasyon deneyinde ise yanabilir verim değeri %82,87 olarak bulunmuştur. Kül giderimi değerleri ise %39,17-46,92 arasında değişmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 March 2024
Received in revised form 26 September 2024
Accepted 4 November 2024
Available online 23 December 2024

Keywords:

Coal, Oil Agglomeration, Waste Oil, Ultrasonic Emulsification

ABSTRACT

In recent years, coal mining technology has been largely mechanized, resulting in significant fine coal content in the coal produced. Direct use of fine coals without cleaning can lead to serious air pollution and solid waste, posing a major risk to the environment. Therefore, it is very important to clean fine coal before use. Oil agglomeration is one of the methods used to clean fine coal. However, due to the high amount of oil used in this method, the method is generally not economically viable. The way to solve this problem is to emulsify the oil to be used as a binder in the method or to use waste oil as a binder. Emulsifying the oils into the system can reduce the amount of oil used in the method. Thus, the oil cost, which is the biggest disadvantage of the method, can be reduced. In recent years, ultrasonic waves have been used in the emulsification of oils. In this study, very fine sized coal with high ash-sulfur content was subjected to agglomeration process with vegetable waste oil. Agglomeration experiments were carried out with and without emulsifying waste oil and the results obtained were compared. When the agglomeration experiment was performed with waste oil emulsified with ultrasonic device (10% oil content), the highest combustible recovery value was 93.46%. In the agglomeration experiment without emulsifying the waste oil, the combustible recovery value was 82.87%. Ash rejection values ranged between 39.17-46.92%.

Doi: 10.24012/dumf.1455988

* Sorumlu Yazar

Giriş

Kömür, en önemli enerji hammaddelerinden biridir. Temiz kömür üretimi, kömürün kullanımı için çok önemli olmakla birlikte sadece kömür kullanımı verimliliğini artırmakla kalmaz aynı zamanda çevreye zarar verebilecek maddelerin emisyonunu da azaltır. Mekanize edilmiş kömür madenciliği teknolojisi ile kömür üretimi yapılırken önemli miktarda ince kömür ortaya çıkmakta olup bu kömürlerin kül içerikleri yüksek olabilmektedir. Dolayısıyla bu kömürlerin kullanılmadan önce temizlenmesi gerekmektedir [1]. İnce kömürlerin temizlenerek ekonomiye kazandırılmasının avantajları, temizlenmemiş haldeki çevresel riskleri göz önünde bulundurduğunda, ince kömürlerin günümüzde temizlenerek değerlendirilmesinin çok önemli olduğu ortaya çıkmaktadır [2]. Flotasyon ve yağ aglomerasyonu yöntemi ince boyutlu kömürlerin temizlenmesinde kullanılan iki tekniktir. Ancak, flotasyonundan farklı olarak, yağ aglomerasyonu yöntemi 400 mesh'in altındaki kömürlerde, düşük kaliteli ve oksitlenmiş kömürlerin temizlenmesinde etkin bir şekilde kullanılabilen bir tekniktir. Yağ aglomerasyon prosesinin diğer avantajları arasında kömür kazanımını kolaylaştıran aglomeratların oluşması, işlemin basitliliği [3], düşük nem ve düşük kükürt içeriğine sahip ürünler oluşturması bulunmaktadır [4]. Bu yüzey özelliğine dayalı teknik, karıştırma altında kömür-su pülpüne karışmayan yağ ilavesini içerir ve aglomeratların elde edilmesi ile sonuçlanır. İşlem sırasında, hidrofilik mineral madde su fazında kalarak aglomeratlardan ayrılır. Bu tekniğin kömür türü, kömür tane boyutu, katı oranı, yağ türü, yağ dozajı, karıştırma hızı, aglomerasyon süresi, sıcaklık, pH ve ultrasonik işlem gibi bir dizi faktörden etkilendiği bulunmuştur [3].

Kömürün yağ aglomerasyonu yönteminde gaz yağı, mazot ve bitkisel yağlar bağlayıcı olarak kullanılabilir [5]. Yöntemde bağlayıcı olarak kullanılan yağların maliyeti yağ aglomerasyon sürecinin en büyük engelleyici yönüdür [2], [6],[7]. Bir ince kömür aglomerasyon prosesinin ekonomik uygulanabilirliğini etkileyen ana faktör saf yağ bağlayıcının maliyetidir. Başarılı bir aglomerasyon prosesi için ağırlıkça %10-20'lik bir dozaj gereklidir. Kesin dozaj elbette kömür beslemesinin özelliklerine bağlıdır, ancak her durumda aglomeratlar içindeki boşlukları doldurmak ve bir dereceye kadar hidrofobik partiküllerin yüzey kaplamasını sağlayabilmek için yeterli bağlayıcı hacmi mevcut olmalıdır. Kapiler durum olarak bilinen bu doymuş durum, aglomerat mukavemeti ve küreselliği açısından önemlidir. Ağırlıkça %10-20'nin altındaki dozajlarda aglomeratların yapısal bütünlüğünün sağlam olmaması aglomeratların kazanılması esnasında parçalanmalara neden olabileceğinden proses verimini düşürebilir [6].

Yağ aglomerasyonu yönteminde bağlayıcı olarak kullanılabilen yağlar, suda çözünemediklerinden ve de oldukça fazla viskozitelerinden ötürü kömür taneleri ile temas kurmaları oldukça zordur. Bununla birlikte, yağların kömür-su karışımına emülsifiye edilmeden verilmesi durumunda daha az verim elde edilebilecektir. Bundan dolayı, yağ aglomerasyonunda kullanılacak yağların emülsifiye edilerek sisteme ilave edilmesi verimin artırılması açısından önemlidir. Yağların emülsifiye edilmesi mekanik karıştırma ile yapılabilmektedir. Ancak, mekanik karıştırma ile yağların

emülsifiye edilmesi genellikle stabil olmamakta ve istenen damlacık boyutu elde edilememektedir [8]. Bununla birlikte, ultrasonik işlemle emülsiyonu stabilize etmek ve istenen damlacık boyutuna ulaşmak mümkündür. Emülsiyonun ultrasonik işlemi sırasında, kabarcıkların ani çöküşü nedeniyle kaviteasyon meydana gelir ve bu da mikro türbülansın gelişmesine neden olur. Sonuç olarak, su ve yağ arasındaki arayüzey gerilimi azalır ve daha büyük yağ damlacıkları daha küçük kararlı damlacıklara bölünür. Bu, küçük boyutlu emülsiyon damlacıkları oluşturarak emülsiyonu daha kararlı hale getirerek sürecin verimliliğini artırır [9].

Yağların emülsifikasyonunda ultrasonik dalgalar etkili bir yöntem olarak benimsenmiş ve bu konuda çalışmalar yapılmıştır [10]-[13]. Emülsiyon, bir sıvının karışmadığı başka bir sıvı içinde ince bir şekilde dağılmasıdır [14]. Ultrason uygulaması emülsifikasyon için gerekli enerji girdisini sağlayabilir. Ultrason ile mikron boyutundan mikron altı boyuta kadar yağ damlacıkları oluşturmak mümkündür. Yağların ultrason destekli emülsifikasyonunda, daha küçük damlacık boyutu, ortamda homojen dağılıma, gelişmiş stabilite, daha düşük güç gereksinimi gibi avantajlar ortaya çıkmaktadır [15]. Bu nedenle ultrason, su içinde yağ emülsiyonları oluşturmak için yaygın olarak kullanılmaktadır [13].

Sahinoglu ve Uslu [16] çalışmalarında yağın ultrasonik cihazla emülsifiye edilerek bağlayıcı olarak kullanıldığı yağ aglomerasyonu deneyinde -0,5 mm tane boyutundaki kömürün temizlenebilirliğini araştırmışlar. Yağın emülsifiye edilerek yapılan aglomerasyon deneyinde kömürden kül ve kükürt giderme işleminin daha başarılı olduğunu bulmuşlardır. Bununla birlikte yanabilir verim üzerinde olumsuz etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Yanabilir verim üzerindeki olumsuz etkisinin ultrasonik işlem ile çok küçük boyuta indirilen yağ damlacıklarının çok daha iri boyutta olan kömür tanelerini başarılı bir şekilde aglomera edemediğini, bu olumsuz etkinin ise kömürün daha ince boyutlara indirilmesiyle ortadan kaldırılabilir olduğunu rapor etmişlerdir. Netten vd. [6] araştırmalarında büyük çoğunluğu 100 mikron altında olan bitümlü kömürün emülsifiye edilmiş ve emülsifiye edilmemiş yağlarla aglomera edilebilirliğini araştırmışlar. Araştırmalarında, emülsifiye edilmiş yağın ince kömürü emülsifiye edilmemiş yağa göre 17 kat daha hızlı ve 10 kat daha az yağ ile aglomera edebildiğini bulmuşlardır. Yadav vd. [17] farklı sektörlerden elde edilen atık yağların kömürün yağ aglomerasyonunda bağlayıcı olarak kullanılabilirliğini araştırmışlar. Bu amaçla atık soya yağı, atık motor yağı ve atık trafo yağı kullanmışlar. Çalışmalarında, farklı sektörlerden elde edilen atık yağların, yıkayıcıdan atılan kömür atığı bulamacından kömür ince tanelerinin zenginleştirilmesi ve geri kazanılması için kullanılabilirliğini bulmuşlardır. Shukla ve Venugopal [4] çalışmalarında yağ aglomerasyonu yöntemiyle ince kömürün temizlenmesinde atık hardal yağının bağlayıcı olarak kullanılabilirliğini araştırmışlar. Atık hardal yağının bağlayıcı olarak ince kömürlerin yağ aglomerasyonunda başarılı bir şekilde kullanılabilirliğini bulmuşlardır. Yaşar vd. [18] kömür yıkama tesisi atıklarındaki ince kömürü geri kazanmak için yağ aglomerasyonu yöntemini kullanmışlardır. Yöntemde bağlayıcı olarak kullandıkları atık ayçiçek yağının, kömür yıkama tesisi atıklarından ince kömürü geri

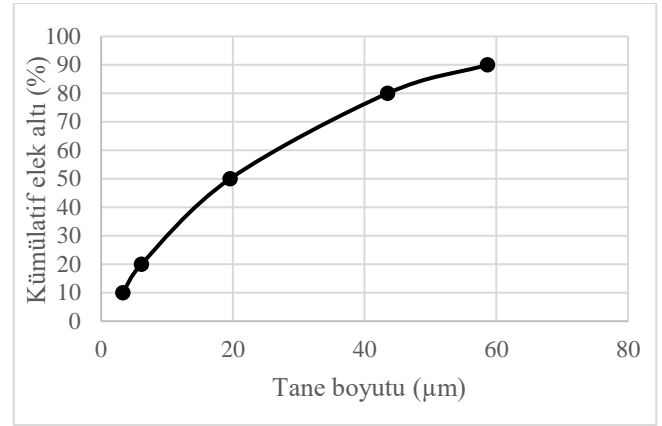
kazanımında düşük maliyetli yağ aglomerasyonu uygulaması için iyi bir seçim olduğunu bulmuşlardır. Esmeli [19] yağ aglomerasyonunda, ince kömürün atık motor yağıyla ultrasonik işlem kullanarak temizlenebilirliğini araştırmıştır. Ultrasonun kömürün yağ aglomerasyonu üzerindeki etkisini, ön işlem aşamasında ve aglomerasyon aşamasında kullanarak belirlemiştir. Ön işlem veya aglomerasyon aşamasında ultrasonun uygulanmasının, kömürün yağ aglomerasyonu sürecini önemli ölçüde etkilediğini belirtmiştir. Ön işlem aşamasında ultrason kullanımının kömürün yağ aglomerasyonunu iyileştirdiğini, ancak aglomerasyon aşamasında ultrason kullanımının yanabilir verim değerini azalttığını rapor etmiştir. Eşmeli [20] Ilgın linyit kömürünün yağ aglomerasyonunda ultrasonik işlemin etkisini araştırmıştır. Araştırma sonucunda, ultrasonik sistemin güç değerinin artışının kömürün kül içeriğini azalttığını, ancak yanabilir verim değerlerinde ise negatif etki ettiğini bulmuştur.

Yağ aglomerasyonu yönteminde bağlayıcı olarak kullanılan yağın miktarı ve maliyeti sürecin en büyük engelleyici yönüdür. İnce kömür aglomerasyonunun ticari bir başarıya ulaşması için yağ miktarının ve dolayısıyla maliyetinin önemli ölçüde azaltılması gerekmektedir. Bu bağlamda, yöntemde kullanılacak olan bağlayıcının sisteme emülsifiye edilerek verilmesi kullanılacak yağ miktarını azaltabilir. Atık yağlarında yöntemde bağlayıcı olarak kullanılması yağ maliyeti anlamında çok büyük katkılar sağlayabilir. Kullanılacak olan gerekli yağ miktarını azaltmak ve atık yağında yöntemde kullanılması ekonomik olarak uygulanabilir bir aglomerasyon prosesi çok önemlidir. Bu çalışmada, yüksek kül-kükürt içerikli çok ince boyutlu Müzret kömürü yağ aglomerasyonu yöntemi kullanılarak bitkisel atık ayçiçek yağı ile aglomera edilmiştir. Yöntemde kullanılacak olan bağlayıcının miktarını azaltmak içinde atık yağ ultrasonik işlem ile emülsifiye edilerek sisteme verilmiştir. Bu çalışma, yüksek kül-kükürt içeren çok ince boyutlu kömürün kullanımı, atık yağın bağlayıcı olarak etkinliği ve atık yağın emülsifikasyon yoluyla uygulanması ile benzer çalışmalardan farklılık göstermektedir. Elde edilen sonuçlar yanabilir verim, kül giderimi ve verim indeksi açısından karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Yaklaşık 100 kg kömür numunesi Müzret (Artvin-Yusufeli) bölgesinden alınmıştır. Laboratuvara getirilen kömür numunesinin miktarı uygun yöntemler kullanılarak azaltılmış ve boyut küçültme işlemine tabi tutulmuştur. Boyut küçültme işlemi çeneli kırıcı, merdaneli kırıcı, çubuklu ve bilyalı değirmen kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen malzemenin tane boyut dağılımı Malvern Mastersizer (Hydro 2000MU) cihazı ile belirlenmiş olup $d_{10}=3,29 \mu\text{m}$, $d_{20}=6,11 \mu\text{m}$, $d_{50}=19,57 \mu\text{m}$, $d_{80}=43,47 \mu\text{m}$, $d_{90}=58,65 \mu\text{m}$ 'dir. Kömür numunesi tane boyut dağılımı Şekil 1'de görülmektedir. Kömür numunesinden alınan temsili örnekler ile kimyasal ve mineralojik analizler yapılmıştır. Kömürün nem, kül, piritik kükürt, sülfat kükürt ve kalorifik değer analizleri yapılmıştır. Analiz değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Müzret kömürünün yüksek kül-piritik kükürt içerdiği belirlenmiştir. Yapılan X-ışını difraktometresi (XRD) analizinde pirit, kaolinit,

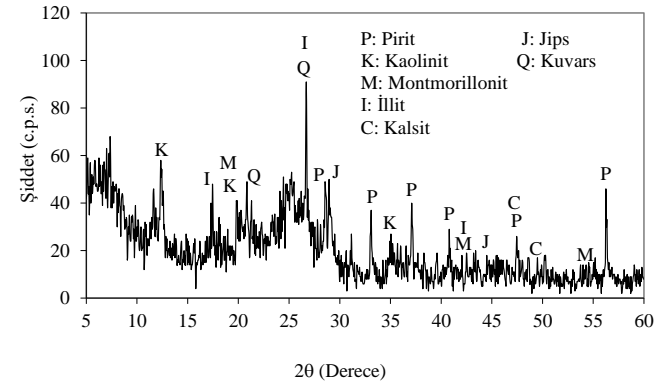
montmorillonit, illit, kalsit, jips ve kuvars minerallerinin kömürle birlikte bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Kömür numunesi tane boyut dağılımı

Tablo 1. Kömürün analiz değerleri

Bileşenler	Havada Kuru	Kuru
Nem (%)	2,25	–
Kül (%)	34,85	35,65
Sülfat Kükürt (%)	0,99	1,01
Piritik Kükürt (%)	5,44	5,57
Kalorifik Değer (kcal/kg) (Üst Isıl Değeri)	4970	5084



Şekil 2. Kömür numunesinin XRD grafiği

Deneylerde bağlayıcı olarak, kızartma amacıyla kullanılıp atık yağ toplama kaplarında biriktirilmiş olan bitkisel atık ayçiçek yağı kullanılmıştır. Atık yağ içerisindeki gıda parçalarını uzaklaştırmak için filtreleme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra herhangi bir ek işlem yapılmadan doğrudan kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan bitkisel atık ayçiçek yağı Şekil 3'de görülmektedir. Viskozitesi ve yoğunluğu sırasıyla $35,81 \text{ mm}^2/\text{s}$ ve $0,91 \text{ gr}/\text{cm}^3$ 'dir. Yağın viskozitesi Tanaka AKV-202 tipi viskometre ile $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, yoğunluğu ise Alla France tipi hidrometre ile $23,8 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de belirlenmiştir. Yağın emülsifiye edilerek sisteme verildiği deneylerde bitkisel atık ayçiçek yağının emülsifikasyonu için ultrasonik işlem kaynağı olarak laboratuvar tipi (750 watt

gücünde, 20 kHz frekansında) ultrasonik cihaz (Cole-Parmer) kullanılmıştır.



Şekil 3. Deneysel ortamda kullanılan bitkisel atık ayçiçek yağı

İlk olarak, ultrasonik emülsifikasyon aşaması olmaksızın yağ aglomerasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yağ aglomerasyon deneyleri silindirik cam kaptta (11,7 cm çapında) gerçekleştirilmiştir. Kap içerisine dört adet plastik levha yerleştirilmiştir. Karıştırma işlemi RZR 2021 tipi mekanik karıştırıcı ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel saf su kullanılmıştır. Deneysel %10 katı oranında 50 g kömür kullanılarak yapılmıştır. Başlangıçta, kömür-su karışımı (450 ml suda 50 g kömür) 3 dakika boyunca 1200 devir/dakika'da şartlandırılmıştır. Daha sonra bağlayıcı olarak kömür ağırlığının %10 atık ayçiçek yağı (5g) eklenmiş ve kömür-su yağ karışımı 1200 devir/dakika'da 10 dakika daha karıştırılmıştır. Çalışmada atık ayçiçek yağı miktarının %10 seçilmesi yazarın daha önce yapmış olduğu çalışmadan yararlanılarak belirlenmiştir [21]. Deneysel, kömür-su yağ karışımının doğal pH'ında (pH: 5,36) gerçekleştirilmiştir. Aglomerasyondan sonra pülp, oluşan aglomeratları, su ve atıklardan ayırmak için 63µm açıklığa sahip bir eleğe aktarılmıştır. Aglomeratlarla birlikte kalmış olabilecek mineral maddeleri uzaklaştırmak için de aglomeratlar 1,5 litre su ile dikkatlice yıkanmıştır. Elekten çıkarılan aglomeratlar vakum filtrede hem susuzlandırılmış hem de aseton ile yıkanarak yağdan arındırılmıştır. Elde edilen temiz kömür 105 ± 5 °C'de kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra tartılmış ve analizler için saklanmıştır.

Daha sonra, ultrasonik yağ emülsifikasyon işlemi içeren yağ aglomerasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Emülsifikasyon işlemi için, yağ-su karışımları (100 ml suda 5 g yağ ve 100 ml suda 2,5 g yağ) 28,5 W/cm² gücünde 1 dakika ultrasonik işleme tabi tutulmuştur (Şekil 4). Kömür-su karışımı (350 ml suda 50 g kömür) 3 dakika boyunca 1200 devir/dakika'da şartlandırılmıştır. Daha sonra 100 ml suda emülsifiye edilmiş yağlar (Şekil 5) kömür-su karışımına eklenmiş ve kömür-su-emülsifiye edilmiş yağ karışımı 1200 devir/dakika'da 10 dakika daha karıştırılmıştır. Oluşan aglomeratların kazanılmasında ultrasonik yağ emülsifikasyonun yapılmadığı deneysel prosesi aynen uygulanmıştır.



Şekil 4. Atık yağın ultrasonik cihazla emülsifikasyonu



Şekil 5. Ultrasonik emülsifikasyon işleminden sonra yağ-su emülsiyonu, Güç: 28,5 watt/cm², %10 yağ miktarı

Yanabilir verim (YV, %), kül giderimi (KG, %) ve verim indeksi (Vİ, %) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır [21].

$$YV (\%) = \left[\frac{C(100 - c)}{F(100 - f)} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$KG (\%) = \left[1 - \frac{C}{F} \frac{c}{f} \right] \times 100 \quad (2)$$

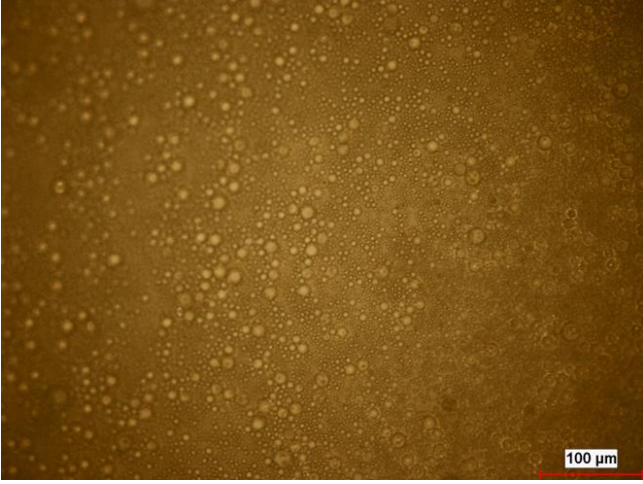
$$Vİ (\%) = [YV (\%) + KG (\%) - 100] \quad (3)$$

Denklemlerdeki;

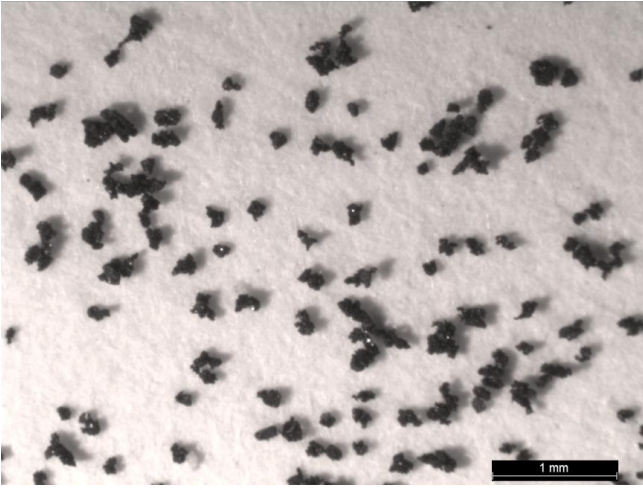
C, Konsantrenin ağırlığı (g); c, Konsantrenin kül içeriği (%); F, Beslemenin ağırlığı (g); f, Beslemenin kül içeriği (%).

Yukarıda belirtilen testlere ek olarak, ultrasonik olarak emülsifiye edilmiş yağ damlacıklarının ve aglomeratların fotoğrafları sırasıyla optik mikroskop (Leica Dm 4000 M) ve stereo mikroskop (Leica Mz 16) kullanılarak çekilmiştir.

Emülsiyon morfolojisini incelemek için, ultrasonik işlem ile emülsifiye edilmiş yağlar emülsifiye edildikten hemen sonra optik mikroskop ile analiz edilmiş ve elde edilen yağ damlacıkları görüntülenmiştir (Şekil 6). Yağların çok küçük boyutta yağ damlacıklarının dönüştürüldüğü ve küresel oldukları görülmektedir. Şekil 7'de görüldüğü gibi elde edilen aglomeratların farklı şekillerde ve boyutlarda olduğu görülmüştür.



Şekil 6. Ultrasonik işlem ile üretilen yağ damlacıklarının mikroskop görüntüsü, Güç: 28,5 watt/cm², Zaman: 1 dak.



Şekil 7. Yağ aglomerasyon prosesinde üretilen aglomeratların mikroskop görüntüsü, Güç: 28,5 watt/cm², %10 yağ miktarı

Bulgular

Bitkisel yağlar, gaz yağı, mazot vb. yağlar kömürün yağ aglomerasyonunda bağlayıcı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yağlar suda çözünemedikleri için pülp ortamında dağılma ve partikül yüzeylerine adsorbe olma verimleri düşüktür, bu da yağ aglomerasyonu prosesinde yüksek yağ tüketimine, uzun aglomerasyon süresine ve hatta aglomerasyon performansının düşmesine neden olabilir. Yağların bağlayıcı olarak kömürün yağ aglomerasyonu işleminde eklenmeden önce ultrasonik emülsifikasyon yoluyla ince damlacıklar halinde dağıtılması, yağ aglomerasyon performansının iyileştirilmesi ve yağ tüketiminin azaltılması açısından çok önemli bir konudur.

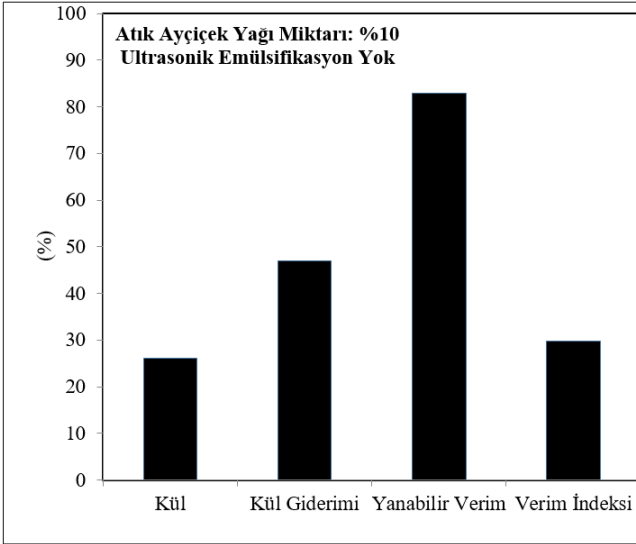
Şekil 8'den görüldüğü gibi, ultrasonik emülsifikasyon yapılmadığı yağ aglomerasyonu deneyinde kömürün kül içeriği %35,65'den %26,19'a düşürülmüştür. Kül giderimi %46,92 olurken, yanabilir verim %82,87 ve verim indeksi %29,79 olarak bulunmuştur.

Şekil 9'da %10 atık ayçiçek yağı ultrasonik işlemle emülsifiye edildiğinde yapılan yağ aglomerasyonu işleminde elde edilen konsantrenin kül içeriği %26,5 olmuştur. Kül

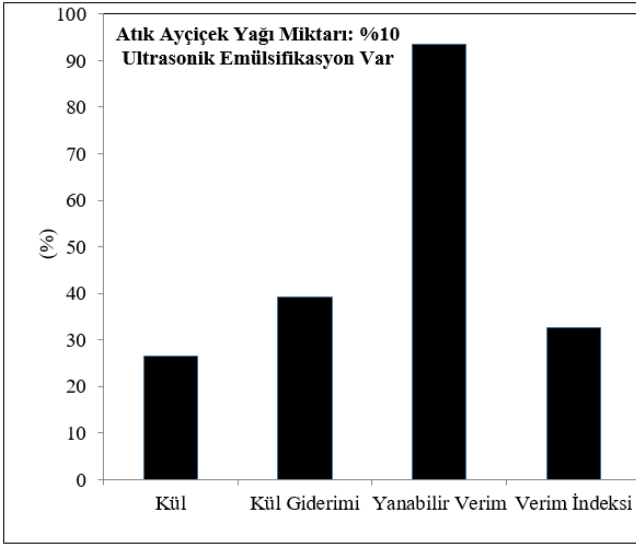
giderimi ve yanabilir verim değerleri sırasıyla %39,17 ve %93,46 olurken, verim indeksi %32,63 olmuştur.

Şekil 10'da %5 atık ayçiçek yağı ultrasonik işlemle emülsifiye edildiğinde yağ aglomerasyonu işleminde konsantrenin kül içeriği %27,3 olarak elde edilmiştir. Kül giderimi ve yanabilir verim değerleri sırasıyla %44,09 ve %82,48 olarak bulunmuştur. Verim indeksi değeri ise %26,57'dir.

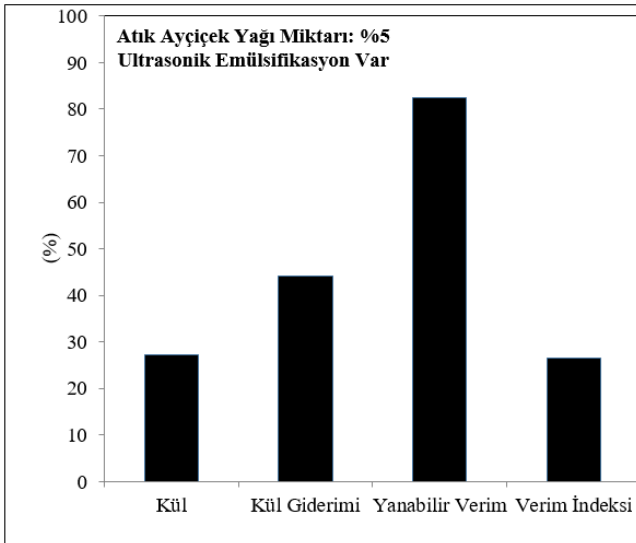
Sonuçlardan görüldüğü gibi bitkisel atık ayçiçek yağı çok ince boyutlu kömürün yağ aglomerasyonunda başarılı bir şekilde kullanılabilir. Sonuçları daha da iyileştirmek için ultrasonik işlemle emülsifiye edilmiş yağlar ile de aglomerasyon deneyleri yapılmış olup sonuçlar geleneksel yağ aglomerasyonu sonuçları ile karşılaştırılmıştır. İlk olarak geleneksel yağ aglomerasyonunda olduğu gibi atık ayçiçek yağı miktarı %10 alınıp ultrasonik dalgalar ile emülsifikasyon işlemine tabi tutulup emülsifiye edilip aglomerasyon deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar geleneksel yağ aglomerasyonu sonuçlarıyla karşılaştırıldığında geleneksel yağ aglomerasyonunda %82,87 olan yanabilir verimin ultrasonik işlemle yağların emülsifiye edildiği yağ aglomerasyonunda %93,46'ya yükseldiği görülmüştür. Bununla birlikte geleneksel yağ aglomerasyonunda kül içeriği ve kül giderimi sırasıyla %26,19 ve %46,92 iken, yağların emülsifiye edildiği yağ aglomerasyonunda kül içeriği ve kül giderimi sırasıyla %26,5 ve %39,17 olmuştur. Yağların emülsifiye edildiği yağ aglomerasyonunda yanabilir verimdeki artış, emülsifiye edilmiş yağların çok küçük boyutlara indirilmesi ve ortamda daha homojen bir şekilde dağılması sonucu çok küçük boyutta olan kömür tanelerini daha iyi aglomera ettikleri söylenebilir. Yağ damlacıklarının ortamda homojen şekilde dağılması ortamdaki kömür taneleriyle yağ damlacıkları arasındaki çarpışma olasılığını artırmaktadır. Böylelikle de ortamda daha fazla aglomerat oluşumu sağlanarak yanabilir verim artmaktadır. Ancak, emülsifiye edilmiş yağların kullanıldığı aglomerasyon deneylerinde kül gideriminin azaldığı görülmüştür. Kül giderim değerinin azalması, emülsifiye edilmiş yağlarla yağ aglomerasyonu prosesinde oluşan aglomeratların daha kompakt oldukları, emülsifiye edilmemiş yağlarla yapılan aglomerasyonda oluşan aglomeratlar belirli bir dereceye kadar kompakt oldukları söylenebilir. Oluşan aglomeratların kompakt olması aglomerat oluşumu esnasında kül yapıcı minerallerin aglomeratlar arasına girip aglomeratların yıkanması işlemiyle aglomeratlar arasından uzaklaştırılmadığı sonucuna varılabilir. Atık yağın emülsifiye edildiği (atık yağ miktarı %5) yağ aglomerasyonu deneyinde, yağ miktarı geleneksel yağ aglomerasyonunda kullanılan yağ miktarına göre yarıya düşürülmesine rağmen elde edilen yanabilir verim değeri %82,48 olmuştur. Bu değer geleneksel yağ aglomerasyonu deneyinde elde edilen değer olan %82,87 ile karşılaştırıldığında hemen hemen bir birine yakın değerler olduğu görülmüştür. Sonuçlar yağ aglomerasyonu deneyinden önce kullanılacak olan yağların ultrasonik dalgalarla emülsifiye edilerek sisteme dahil edilmesinin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Böylelikle kullanılacak olan yağ miktarı yarıya düşürülüp proses maliyeti oldukça azaltılabilir. Bu çalışmada olduğu gibi yöntemde atık yağlarında başarıyla kullanılacak olan yağın yöntemin ticari anlamda kullanılabilirliği açısından çok önemli bir yer tutmaktadır.



Şekil 8. Ultrasonik emülsifikasyon işleminin yapılmadığı yağ aglomerasyon deneyinde elde edilen sonuçlar.



Şekil 9. Ultrasonik emülsifikasyon işleminin yapıldığı (%10 atık yağ) yağ aglomerasyon deneyinde elde edilen sonuçlar.



Şekil 10. Ultrasonik emülsifikasyon işleminin yapıldığı (%5 atık yağ) yağ aglomerasyon deneyinde elde edilen sonuçlar.

Tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, yağ emülsifikasyonu, yağ aglomerasyonundaki önemli aşamalardan biridir. Mekanik karıştırma yoluyla yağların emülsifikasyonunda istenilen büyüklükte ve sayıda yağ damlacığı elde etmek zor olabilir. Bununla birlikte, ultrasonik işlem ile küçük boyutlu ve istenilen sayıda yağ damlacıkları daha az miktarda yağ kullanılarak elde edilebilir. Emülsifiye edilmiş yağ damlacıkları daha küçük ve geniş yüzey alanına sahiptir ve kömür yüzeylerini tamamen kaplayarak iyi yağ kullanımı ve hızlı aglomerasyon sağlar. Emülsifikasyon, çok ince boyutlu kömürlerin yağ aglomerasyonunda bağlayıcı olarak kullanılan yağların etkinliğini artırmada önemli bir role sahiptir. Yağ damlacığının boyutu, yağ aglomerasyonunu sürecini etkileyen önemli bir parametredir. Özellikle çok ince boyutlu kömürlerin yağ aglomerasyonu yöntemiyle kazanılmasında yağların emülsifiye edilerek ortama eklenmesi yanabilir verimin artırılması açısından önemlidir.

Sonuçlar

Yağ aglomerasyonunun ticari anlamda kullanılabileceği açısından çok önemli olan bağlayıcı miktarının azaltılması ve yöntemde atık yağların kullanılabilirliği bu çalışmada ortaya koyulmuştur. Çok ince boyutlu kömürlerin yağ aglomerasyonu ile temizlenmesinde bitkisel atık ayçiçek yağı bağlayıcı olarak başarılı bir şekilde kullanılabilir. Ultrasonik işlemin emülsifikasyon işlemi için başarılı bir yöntem olduğu görülmüştür. Ultrasonik emülsifikasyon küçük boyutlu yağ damlacıkları üretmiş ve yağ damlacıklarının su içinde homojen dağılımını sağlamıştır. Kömürün yağ aglomerasyonunda bağlayıcı olarak kullanılacak olan yağ miktarı ultrasonik emülsifikasyon işlemiyle azaltılabileceği belirlenmiştir. Geleneksel yağ aglomerasyonu deneyinde bağlayıcı olarak %10 kullanılan atık yağ miktarı, %5'e düşürülüp ultrasonik işlemle emülsifiye edildiğinde elde edilen yanabilir verim değerleri birbirine çok yakın olarak bulunmuştur. Çalışmada yüksek yanabilir verim ve önemli ölçüde kül giderimi değerleri elde edilmiştir. Yanabilir verim değerleri %82,48-93,46 arasında, kül giderimi değerleri ise %39,17-46,92 arasında değişmiştir. Ayırma etkinliği, %10 atık yağ miktarında ultrasonik emülsifikasyon işleminin yapıldığı deneyde maksimum olarak %32,63 bulunmuştur.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

“Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur”

“Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır”

Kaynaklar

- [1] X. Wang, D. Meng, J. Li, Z. Lu, Z. Zhang, C. Zhang, S. Song, Y. Peng, L. Xia, “Composition and dynamics of bacterial communities during flotation in a coal preparation plant”, *Journal of Cleaner Production*, 385, 135691, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135691>.
- [2] S. Chakladar, P.K. Patar, D. Vishwakarma, A. Mohanty, S. Mallick, S. Chakravarty, “Demineralization of high ash coal fines of Indian origin using Mahua oil”, *Cleaner*

- Engineering and Technology, 4, 100222, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100222>.
- [3] S. Kumar, G.H.V.C. Chary, M.G. Dastidar, "Optimization studies on coal-oil agglomeration using Taguchi (L16) experimental design", *Fuel*, 141, 9-16, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.09.119>.
- [4] D. Shukla, R. Venugopal, "Optimization of the process parameters for fine coal-oil agglomeration process using waste mustard oil", *Powder Technology*, 346, 316-325, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.02.001>.
- [5] B.S. Ken, B.K. Nandi, "Desulfurization of high sulfur Indian coal by oil agglomeration using Linseed oil", *Powder Technology*, 342, 690-697, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.10.045>.
- [6] K. Netten, R.M. Atanasio, K.P. Galvin, "Selective agglomeration of fine coal using a water-in-oil emulsion", *Chemical Engineering Research and Design*, 110, 54-61, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2016.02.029>.
- [7] G. DeJuliis, G. Sahasrabudhe, R. Davis, J. White, K. Galvin, "Effects of emulsifier concentration in a high-internal-phase, W/O emulsion binder on particle agglomeration", *Chemical Engineering Science*, 248, 117098, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.117098>.
- [8] E. Kılınç Aksay, V. Arslan, H. Polat, "Toz kömürlerin zenginleştirilmesinde yağ aglomerasyonu yöntemi ve yenilikler", *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 23 (2), 97-108, 2012.
- [9] S.D. Barma, "Ultrasonic-assisted coal beneficiation: A review", *Ultrasonics Sonochemistry*, 50, 15-35, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.08.016>.
- [10] M. Mohsin, M. Meribout, "Oil-water de-emulsification using ultrasonic technology", *Ultrasonics Sonochemistry*, 22, 573-579, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.05.014>.
- [11] W.H. Wu, D.G. Eskin, A. Priyadarshi, T. Subroto, I. Tzanakis, W. Zhai, "New insights into the mechanisms of ultrasonic emulsification in the oil-water system and the role of gas bubbles", *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105501, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105501>.
- [12] Z. Bocek, M. Petkovsek, S.J. Clark, K. Fezzaa, M. Dular, "Dynamics of oil-water interface at the beginning of the ultrasonic emulsification process", *Ultrasonics Sonochemistry*, 101, 106657, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106657>.
- [13] A.P. Udepurkar, C. Clasen, S. Kuhn, "Emulsification mechanism in an ultrasonic microreactor: Influence of surface roughness and ultrasound frequency", *Ultrasonics Sonochemistry*, 94, 106323, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106323>.
- [14] V. Sivakumar, R.P. Prakash, P.G. Rao, B.V. Ramabrahmam, G. Swaminathan, "Power ultrasound in fatliquor preparation based on vegetable oil for leather application", *Journal of Cleaner Production*, 16, 549-553, 2008, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.01.006>.
- [15] I. Adeyemi, M. Meribout, L. Khezzar, N. Kharoua, K. Alhammadi, V. Tiwari, "Experimental and numerical analysis of the emulsification of oil droplets in water with high frequency focused ultrasound", *Ultrasonics Sonochemistry*, 99, 106566, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106566>.
- [16] E. Sahinoglu, T. Uslu, "Use of ultrasonic emulsification in oil agglomeration for coal cleaning", *Fuel*, 113, 719-725, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.06.046>.
- [17] A.M. Yadav, N. Suresh, A. Sundaram, P. Painkra, A.K. Raja, M. Arshad, "Investigation and optimization of the recovery of coal fines using oil agglomeration process: Use of waste oils from different sectors", *Journal of Dispersion Science and Technology*, 39(5), 754-764, 2018, <https://doi.org/10.1080/01932691.2017.1414610>.
- [18] Ö. Yaşar, T. Uslu, E. Şahinoğlu, "Fine coal recovery from washery tailings in Turkey by oil agglomeration", *Powder Technology*, 327, 29-42, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.12.042>.
- [19] K. Esmeli, "Improvement of lignite oil agglomeration by ultrasound process using waste engine oil", *Particulate Science and Technology*, 41(4), 544-554, 2023, <https://doi.org/10.1080/02726351.2022.2124210>.
- [20] K. Eşmeli, "İlgın linyit kömürünün yağ aglomerasyonunun ultrasonik proses ile iyileştirilmesi", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(1), 107-117, 2024, <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1459397>.
- [21] E. Sahinoglu, T. Uslu, "Effect of particle size on cleaning of high-sulphur fine coal by oil agglomeration", *Fuel Processing Technology*, 128, 211-219, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.07.015>.