

## İlgın Linyit Kömürünün Yağ Aglomerasyonunun Ultrasonik Proses ile İyileştirilmesi

Kiraz EŞMELİ\*<sup>1</sup> ORCID 0000-0001-5699-5199

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya

Geliş tarihi: 05.03.2024

Kabul tarihi: 28.03.2024

Atıf şekli/ How to cite: EŞMELİ, K., (2024). İlgın Linyit Kömürünün Yağ Aglomerasyonunun Ultrasonik Proses ile İyileştirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(1), 107-117.

### Öz

Bu çalışmada, ultrasonik sistemin ılgın linyit kömürünün yağ aglomerasyonu üzerine etkisi incelenmiştir. Ultrasonik cihazının uygulanma güç değerleri ve süresinin kömür süspansiyonunun kül içeriği ve yanabilir verim değerleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Bu bağlamda ultrasonik sistemin güç değerinin artması kül değerleri üzerinde olumlu bir etki yaratırken, yanabilir verim değerlerini ise negatif yönde etkilemiştir. Kül içeriğindeki azalma ultrasonik cihazın kaviteasyon etkisine bağlanırken, yanabilir verimdeki azalma ultrasonik cihazın kömür yüzeylerinde yarattığı değişime bağlanmıştır. Ayrıca, ultrasonik cihazın belirli bir sürelerde uygulanması (1-3 dakika) kül içeriğini azaltmış, yanabilir verim değerlerini artırmıştır. En iyi sonuçlar ultrasonik işlemin 90 Watt güç değerinde ve 3 dakika uygulanma süresi ile elde edilmiştir. Optimum koşullar altında, geleneksel deneylerde %55,59 verimlilikle %18,39 kül içeriğine sahip kömür elde edilirken, ultrason ön işlemeyle %10,02 kül içeriğine sahip kömür %64,59 verimlilikle elde edilmiştir. Bu sonuçlar, ultrasonik ön işlemin ince taneli kömürün zenginleştirilmesinde etkili bir yöntem olabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Linyit, Ultrasonik işlem, Yağ aglomerasyonu

### Improvement of Oil Agglomeration of İlgın Lignite Coal by Ultrasonic Process

#### Abstract

In this study, the effect of the ultrasonic system on the oil agglomeration of lignite coal in the presence of waste sunflower oil was investigated. The effect of the power values and application time of the ultrasonic device on the ash content and combustible yield values of the coal suspension was determined. In this context, increasing the power value of the ultrasonic system had a positive effect on the ash values while negatively affecting the combustible yield values. The decrease in ash content was attributed to the cavitation effect of the ultrasonic device, while the decrease in combustible yield was attributed to changes in coal surfaces caused by the ultrasonic device, especially in terms of particle size. Additionally, applying the ultrasonic device for specific durations (1-3 min.) reduced the ash content and increased the combustible yield values. The best results were obtained with 90-Watt power value of ultrasonic process and 3 min.

\*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Kiraz EŞMELİ, [kubragkelleci@gmail.com](mailto:kubragkelleci@gmail.com)

application time. Under optimal conditions, coal with an ash content of 18.39% was obtained with an efficiency of 55.59% in conventional experiments, while coal with an ash content of 10,02% with ultrasound pretreatment was obtained with an efficiency of 64.59%. These results showed that ultrasound pretreatment was an effective method for the enrichment of fine particle coal.

**Keywords:** Lignite, Ultrasound process, Oil agglomeration

## 1. GİRİŞ

Artan enerji ihtiyacını karşılamak için çok uzun süredir kullanılan ve büyük rezervlere sahip olan kömür dünyada önemli bir konuma sahiptir. Son yıllarda giderek artan enerji talebinin neden olduğu çevre kirliliği insanlar için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Temiz bir çevre için gerekli olan, ince kömürleri geri kazanarak kömür bulamaçlarını azaltabilecek teknikleri benimseyerek kömür atığı üretimini en aza indirmek ve ayrıca kömür zenginleştirilmesi yoluyla uçucu kül üretimini azaltmaktır. Köpük flotasyonu, flokülasyon ve yağ aglomerasyonu gibi ayrılma teknikleri, ince kömür zenginleştirilmesinde kullanılan yöntemler arasındadır [1]. Yağ aglomerasyonu, uygun seçicilik sağlaması ve yüksek kül içerikli ayrılması zor ince kömürlerin zenginleştirilmesinde kullanılması açısından en etkili yöntemlerden biridir [2].

Minerallerdeki organik ve inorganik safsızlıkları ayırma yöntemlerinden biri, yağ aglomerasyonu işlemidir. Sistem, yağ, ince boyutlu mineraller ve su karışımından oluşur. Yağ, hidrofobik özelliklere sahip mineral partiküller için bağlayıcı bir sıvı ortam oluştururken, hidrofilik özelliklere sahip mineraller için de ayırıcı bir ortam oluşturur. Sistemde yağ, mineral parçacıklar arasında bir köprü görevi görür. Karıştırma işlemi başladığında parçacıklar birbiriyle temas eder, minerallerin organik kısmı yağ yapışır ve inorganik mineral maddeler süspansiyon ortamında kalır [3-5]. Başarılı aglomerasyon işlemi, kullanılacak yağın türüne ve miktarına, ayrıca nem içeriğine, partikül boyutuna ve kömürün doğasına bağlıdır. Düşük kalorili kömürler düşük hidrofobik özelliğe sahip olduğundan kullanılacak yağ seçimi özel ve düzenli bir çalışma gerektirir. Literatürde kömür yağ aglomerasyonu için en uygun koşulları belirlemeye

yönelik birçok çalışma bulunmaktadır [6,7]. Bununla birlikte, işlem verimliliği ve uygulanabilirlik açısından, en uygun parametrelerin ve koşulların belirlenmesi gerekmektedir [8-10]. Mazot, gazyağı ve atık yağ gibi çeşitli yağlar kömür yağ aglomerasyonu işlemlerinde kullanılmaktadır. Yağların yüksek maliyeti, yağ aglomerasyon sürecinin endüstride uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek için atık yağlar kullanılarak aglomerasyon sürecinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca atık motor yağı kullanılarak yapılan sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır [10-12].

Kavitasyon, ultrasonik ses dalgalarının bir sıvı ortamda yarattığı etkidir. Mikro kabarcıklar, ses dalgalarının nadir döngüsünde büyüyerek, sıkıştırma döngüsünde ise hızla çökerler. Bu çökme sırasında büyük bir enerji açığa çıkar ve kavitasyon olarak adlandırılan lokalize bir enerji patlaması meydana gelir [13-16]. Ultrasonik işlem, kavitasyon etkisi sayesinde uygulama alanına bağlı olarak malzemelerin temizliği, reaksiyon hızı ve karışım homojenliği gibi faktörleri iyileştirir. Bu nedenle, ultrasonik ses dalgalarının kavitasyon özelliği, bu teknolojinin yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Ultrasonik prosesin, son yıllarda kömür flotasyonu üzerindeki etkisi üzerine yapılan çalışmalar, daha verimli ve etkili flotasyon yöntemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır [16-30]. Bu çalışmaların birçoğu, ultrasonik işlemin nano kabarcıkların oluşumu ve mineral-yüzey etkileşimlerini artırması nedeniyle kömürün yüzdürme performansını artırdığını göstermektedir [27-33]. Ayrıca, ultrasonik prosesin reaktiflerin homojen dağılımını sağladığı ve partikül yüzeylerini temizleyerek reaktif tüketimini azalttığı da belirtilmektedir. Ancak, kömür aglomerasyonu üzerine ultrasonik işlemin etkisini araştıran çalışmaları hala sınırlıdır ve daha fazla araştırmaya

ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, ultrasonik işlemin kömür aglomerasyonu üzerindeki etkisini daha ayrıntılı bir şekilde incelemektir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneyel çalışmalarda Konya'nın Ilgın ilçesinden tedarik edilen linyit numunesi kullanılmıştır. Linyit örneğinin kuru bazda özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Nem analizi, ASTM D 3173-03 2010 Standart Test Metoduna göre yapılmıştır [34]. Kül analizi, ASTM D 3174-04 2010 Standart Test Metoduna göre gerçekleştirilmiştir [35]. Kömürün kalorifik değeri tayini standartlara uygun olarak Leco AC-350 marka cihaz kullanılarak belirlenmiştir [36]. Kömür örneklerinin sabit karbon içerikleri ise; nem, kül ve uçucu madde içerikleri toplamının 100'den çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Linyit numunesi çubuk değirmen kullanılarak öğütülmüş numunenin partikül boyut analizi bir lazer kırınım ölçer cihazı (Malvern Mastersizer 2000, UK) ile yapılmıştır. Köprülleme sıvısı olarak testlerde kullanılan atık Ayçiçek yağı okul mutfağından tedarik edildi ve atık yağın yoğunluğu 0,91 g/cm<sup>3</sup> olarak bulundu. Literatürde atık Ayçiçek yağlarının yoğunluğunun 0,9-0,92 g/cm<sup>3</sup>, viskozitesinin ise 14,9-145,2 mm<sup>2</sup>/s arasında değiştiği belirtilmektedir [37,38].

**Çizelge 1.** Linyit örneğinin kuru bazda özellikleri

Kül (%)	Nem (%)	Sabit Karbon (%)	Kalori Değeri (kcal/kg)
26,02	22,5	16,6	3367,7

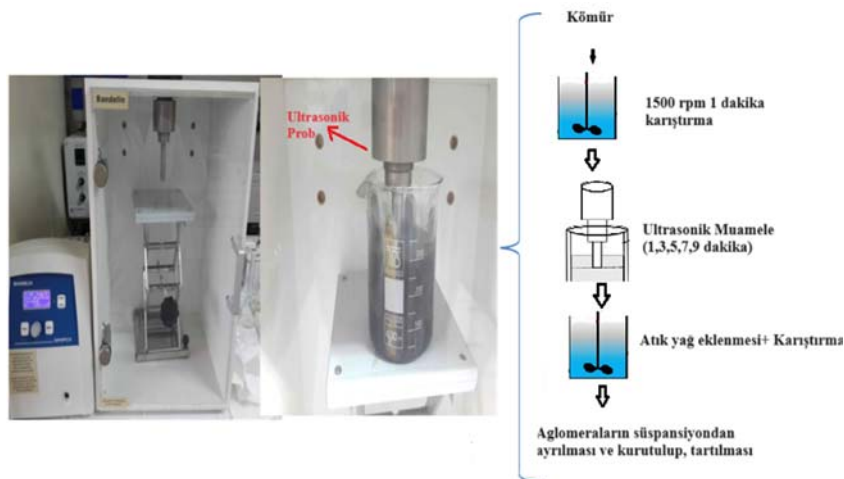
### 2.1. Aglomerasyon Deneyleri ve Ultrasonik Destekli Aglomerasyon İşlemi

Agglomerasyon testleri, 4 adet bariyere sahip cam silindirik bir beherde gerçekleştirilmiştir. Çarpışma olasılığının artırılması için beherin iç yüzeylerine birbirine eşit mesafede olacak şekilde 4 adet cam bariyer yapılandırılmıştır. Deneyel çalışmalar 5 gr kömür 300 cm<sup>3</sup> su kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyel prosedür Şekil 1'de sunulmuştur. Aglomereler elde edildikten sonra yanma verimi Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır. Agglomerasyon deneyleri ±%5 deneyel hata değerleri içinde elde edilmiştir.

Yanabilir Kömür verimi (YV, %)

$$= 100 \times \frac{A(100 - A_{\text{Kül}})}{B(100 - B_{\text{Kül}})} \quad (1)$$

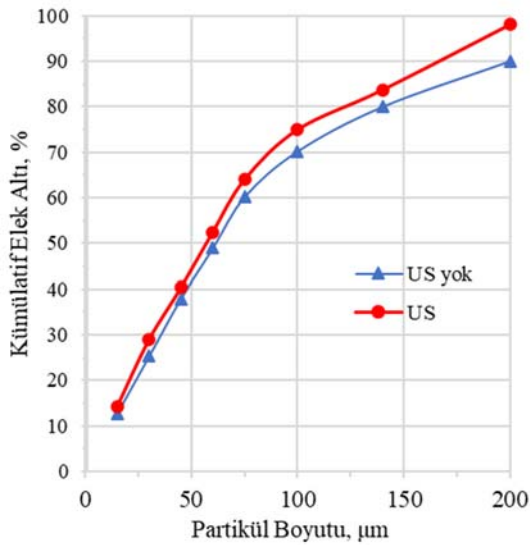
Burada, A= Temiz kömür yüzdesi (%), A<sub>Kül</sub> = temiz kömür kül içeriği, (%) B= besleme malı yüzdesi (%), ve B<sub>Kül</sub> = besleme malı kül içeriği (%)



**Şekil 1.** Ultrasonik titreşim cihazı Bandelin (Sonopuls HD 3200) ve deneysel akım şeması

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

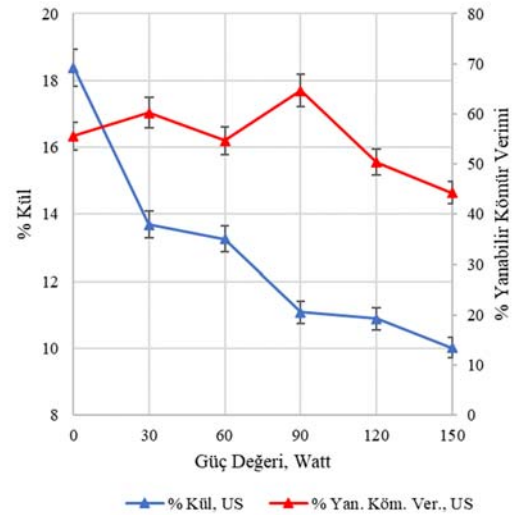
Öğütülmüş numunenin partikül boyut dağılımı Şekil 2’de sunulmuştur. Şekil 2’den görülebileceği gibi, orijinal kömürün %80’i yaklaşık 148 µm boyutundan geçmektedir. Partikül boyut dağılımı ultrasonik işlemden etkilenmiş ve  $d_{80}$  değeri yaklaşık 120 µm olarak kaydedilmiştir. Toraman [39] tarafından yapılan çalışmada da ultrasonik işlemin kalsit mineralinin partikül boyutunu küçülttüğü belirtilmiştir. Bazı flotasyon çalışmalarında ultrasonik işleminin kaviteasyonun etkisiyle kömür yüzeylerini değiştirdiği, yüzey değişikliğinin partikül-reaktif ve kabarcık-partikül etkileşimini artırarak flotasyon verimliliğinde artışa neden olduğu kaydedilmiştir [28,30,40].



**Şekil 2.** Öğütülmüş numunenin tane boyut dağılımı

Ultrasonik işlemin linyit süspansiyonunun yağ aglomerasyonuna etkisi, Şekil 3’te farklı güç değerlerine bağlı olarak gösterilmiştir. Ultrasonik işlemin güç değerlerinin 30 watt değerinden 150 Watt güç değerine kadar artması kömür süspansiyonunun kül içeriğini olumlu etkilerken yanabilir verimde azalmaya neden olmuştur. Benzer bulgular Şahinoğlu ve Uslu [41] tarafından yapılan ultrasonik ön işlem kullanılan kömür süspansiyonunun yağ aglomerasyonu çalışmasında da bulunmuştur. Bu çalışmada ultrasonik işlemin yüksek güç değerinde kullanılmasının kül

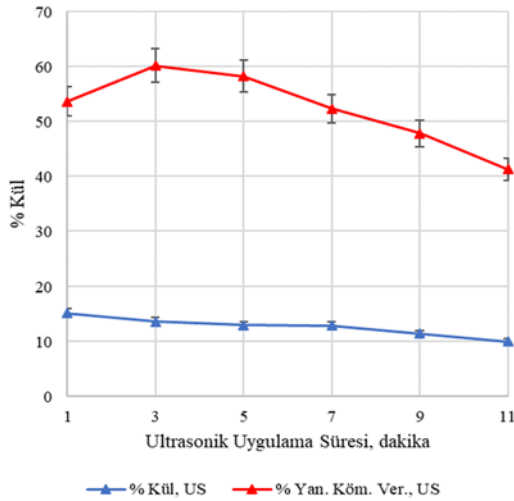
uzaklaştırma oranını artırırken, yanabilir verimi azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, ultrasonik sistemin güç seviyelerinin yanabilir kömür verimi üzerindeki olumsuz etkisini kaviteasyon sonucu oluşan küçük boyutlu yağ damlacıklarının aglomerasyonun sınırlı büyümesine yol açmasına bağlamışlardır. Eşmeli [12] tarafından yapılan atık motor yağı ile kömür aglomerasyon çalışmasında da benzer bulgular kaydedilmiş, yüksek güç değerinde ultrasonik ön işlem uygulanmasının kömür süspansiyonunun kül içeriğini azaltırken, yanabilir verim de de azalmaya yol açtığı kaydedilmiştir. Yüksek ultrasonik güç değerinde yanabilir verimdeki azalma, dağılıma kuvvetlerinin iyileştirilmesinin bir sonucu olarak kömür parçacıkları ve yağ damlacıkları arasındaki temasın artmasına da bağlı olabilir.



**Şekil 3.** Ultrasonik işlemin güç değerlerine bağlı olarak linyit süspansiyonunun kül içeriği ve yanabilir verim değerleri (ultrasonik işlem süresi: 3 dak.; atık yağ oranı: %20)

Ultrasonik işlem uygulama süresinin kömür süspansiyonunun yağ aglomerasyonu üzerindeki etkisi Şekil 4’de gösterilmiştir. Ultrasonik sistemin uygulanma süresi arttıkça kül içeriği azalmıştır. Öte yandan, 3 dakika boyunca ultrasonik işlem uygulanması, yanabilir kömür veriminde artışa neden olmuştur. Ancak, uygulama sürelerinin 3 dakikadan 11 dakikaya uzaması yanabilir verimi

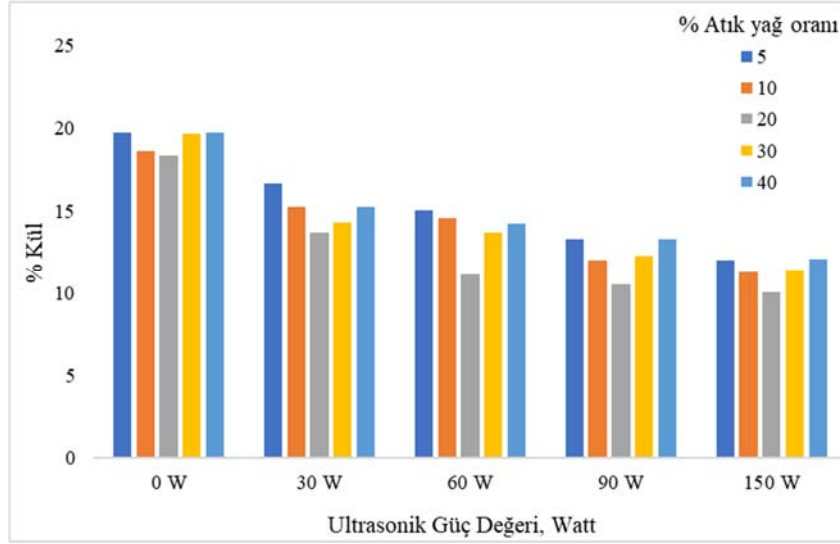
olumsuz yönde etkilemiştir. Şahinoğlu ve Uslu [41], ultrasonik işlem süresinin düşük güç değerinde kül uzaklaştırma oranı üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığını, fakat güç değerinin yüksek seviyelere çıkmasıyla kül uzaklaştırma oranını azalttığını belirtmişlerdir. Diğer bir çalışmada Şahinoğlu ve Uslu [42], ultrasonik sistemin olumsuz etkisini ultrasonik kavitasyon sonucuyla oluşan nano boyutlu yağ damlacıklarının aglomeraların sınırlı büyümesine izin vermesine bağlamışlar ve bunun da yanabilir verimde azalmaya neden olduğunu ifade etmişlerdir. Literatürde ultrasonik işlemin mineral flotasyonu üzerindeki etkisini araştıran çalışmalarda da ultrasonik sistemin uygulanma güç değeri ve süresinin flotasyon başarısını etkileyen önemli parametreler olduğu not edilmiştir [27,43,44].



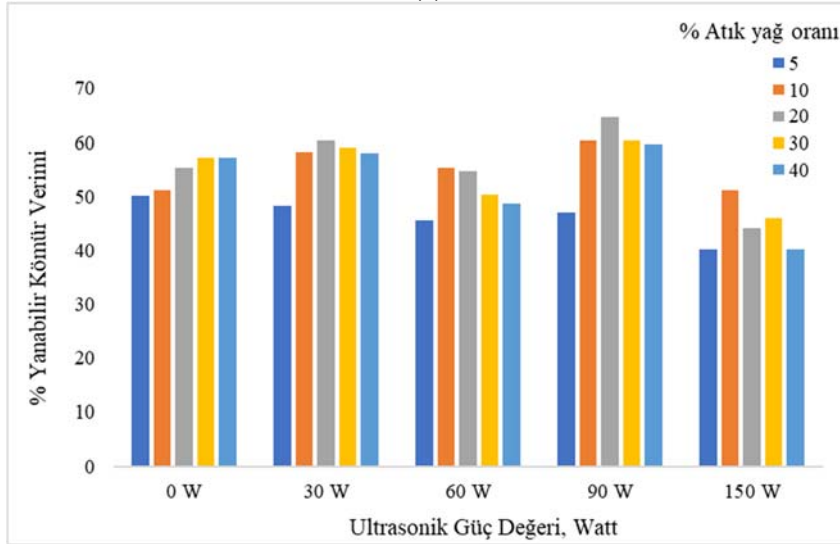
**Şekil 4.** Ultrasonik sistemin farklı muamele sürelerine bağlı olarak linyit süspansiyonunun kül içeriği ve yanabilir verim değerleri (Ultrasonik güç değeri: 90 Watt; atık yağ oranı: %20)

Atık yağ oranına bağlı olarak ultrasonik sistemin farklı güç değerleri için kömür süspansiyonunun kül içeriği ve yanabilir verim değerleri üzerindeki etkisi Şekil 5'te sunulmuştur. Ultrasonik sistemin kullanılmadığı deneylerde %20 atık yağ oranına kadar kül içeriği değerleri azalmış, atık yağ oranının yükselmesiyle kül içeriği değerleri artmaya başlamıştır. Öte yandan, ultrasonik işlemin

kullanıldığı deneylerde de kül içeriği değerlerinin benzer şekilde değiştiği görülmektedir. Ancak, ultrasonik işlemin kül içeriği değerlerini olumlu yönde etkilediği güç değerleri arttıkça daha düşük kül içeriği değerleri elde edildiği görülmüştür. Ultrasonik güç değerlerinin artması, kömürden kül uzaklaştırma oranlarını arttırmaktadır. Şahinoğlu ve Uslu'nun [41] çalışmasında, 9.5-72.8 Watt/cm<sup>2</sup> arasındaki ultrasonik güç değerlerinin kullanıldığı durumlarda, kül uzaklaştırma oranlarının arttığı belirtilmiştir. Bu çalışmada ultrasonik işlem uygulanan numunenin morfolojik analizi yapılmış ve kömür yüzeyinde bulunan çatlak ve kırıkların ultrasonik muameleden sonra azaldığı kömür yüzeyinden kil ve diğer mineral maddelerin uzaklaştığı tespit edilmiştir. Bu sebeple, ultrasonik işlemin kavitasyon etkisiyle kömür yüzey üzerindeki oksitlenmiş tabakayı azalttığı ve daha temiz kömür yüzeyleri ve boşlukları oluşturduğu düşünülmüştür. Bu sonuçlar, daha yüksek ultrasonik güç değerlerinin daha etkili kül uzaklaştırma sağladığını göstermektedir. Flotasyon çalışmalarında verimlilikteki artışın da kömür yüzeyindeki oksitlenmiş tabakanın azalması ve daha temiz kömür yüzeyleri ve boşluklarının oluşmasıyla ilişkilendirilmiştir [14,20,21,45]. Ayrıca, ultrasonik kavitasyonun su ve yağ arasındaki arayüzey gerilimini azaltarak yağ damlacıklarını küçük ve kararlı hale getirdiği ve aglomerasyon sürecini iyileştirdiği düşünülmüştür [37,43,44]. Öte yandan, ultrasonik sistemin kullanılmadığı deneylerde, atık yağ oranına bağlı olarak yanabilir kömür verim değerleri artarken, ultrasonik sistemin kullanıldığı deneylerde, özellikle yüksek güç değerlerinde yanabilir verim değerleri azalmaktadır. Amedkar ve arkadaşları [48], Özkan [45] ve Eşmeli [47] çalışmalarında, kömürün ultrasonik işlem sonucunda parçalanmasıyla tane boyutunun azaldığı ve bu durumun aglomerasyonun azalmasına neden olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde, Kang ve arkadaşları [49] tarafından yapılan çalışmada da ultrasonik işlemin kömürün iç yapısında değişikliklere neden olduğunu ve bu değişikliklerin aglomerasyonu azalttığını kaydetmişlerdir. Kömür tane boyutunun aglomerasyonu etkileyen önemli parametrelerden olduğu birçok çalışmada vurgulanmıştır [45,50-53].



(a)



(b)

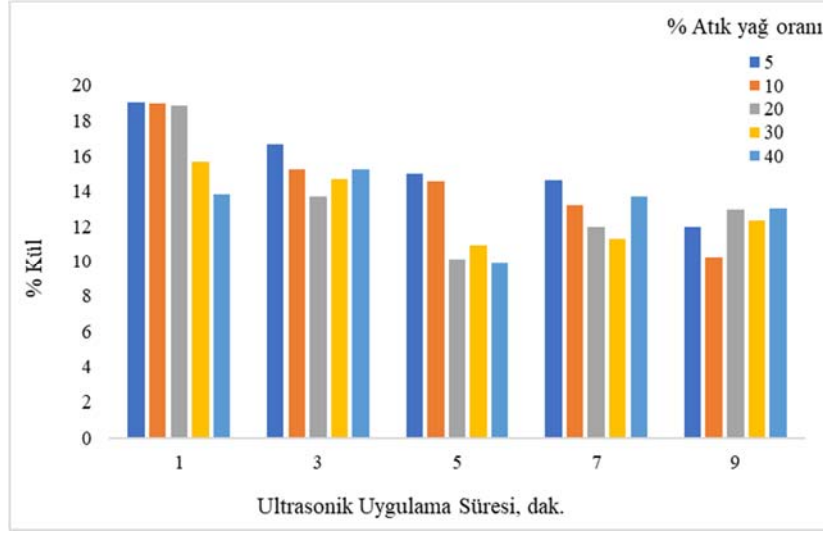
**Şekil 5.** Atık yağ oranına bağlı olarak ultrasonik sistemin güç değerlerinin a) % kül üzerine etkisi ve b) % yanabilir kömür verimine etkisi (Ultrasonik işlem süresi: 3 dak.)

Şekil 6'da atık yağ oranına bağlı olarak ultrasonik işlem sürelerinin kömür süspansiyonunun yağ aglomerasyonu üzerindeki etkisi incelenmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi, linyit süspansiyonunun kül içeriği 1 dakika ultrasonik işlem uygulandığında %20 atık yağ oranına kadar kısmen azalmış, yağ oranının daha yüksek seviyelere çıkmasıyla keskin bir şekilde azalmıştır. Ancak, diğer sürelerde

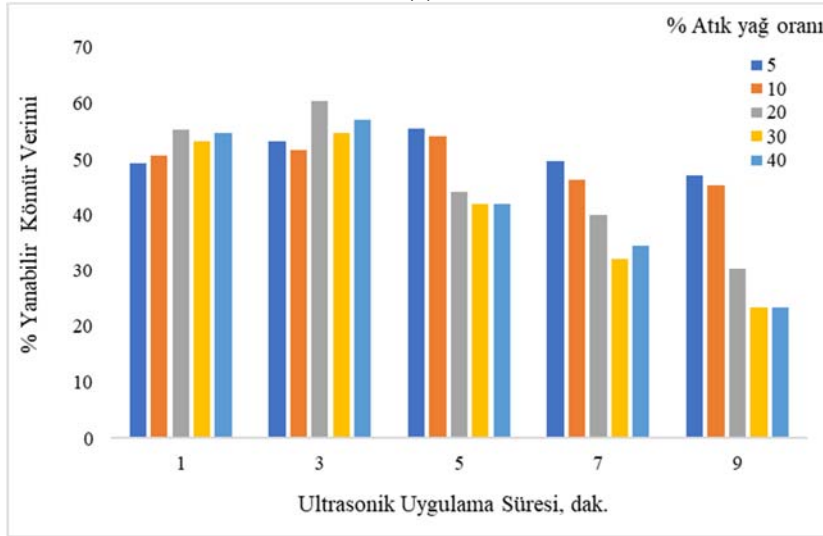
ultrasonik işlem uygulandığında kül içeriği % 20 yağ oranına kadar azalmış ve daha sonra artmıştır. Bu durum, ultrasonik işlemin kömür yüzeyindeki güçlü kaviteasyon etkisi nedeniyle olabilir. Yanabilir kömür verimi ise 1 ve 3 dakika ultrasonik işlem süreleri uygulandığında, %20 yağ oranına kadar artmış ve daha sonra yağ oranının yüksek seviyelere çıkmasıyla azalmaya başlamıştır. Ancak, kömür

süspansiyonunun ultrasonik işleme daha uzun maruz kalması yanabilir kömür verimini olumsuz yönde etkilemiştir. Xu ve arkadaşları [29] tarafından yapılan bir çalışmada, ultrasona maruz

kalma süresine bağlı olarak oksitlenmiş kömür yüzeyinin daha pürüzsüz hale geldiği, ancak maruz kalma süresinin daha fazla artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirtilmiştir. [45,50-53].



(a)



(b)

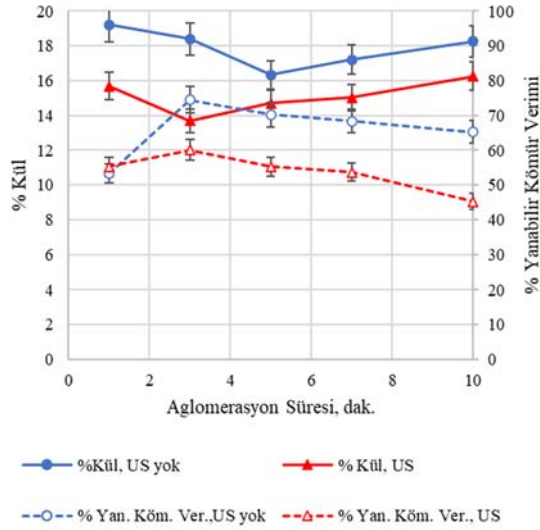
**Şekil 6.** Yağ oranına bağlı olarak kömür süspansiyonunun ultrasonik işleme maruz kalma süresinin a) % kül üzerine etkisi ve b) % yanabilir kömür verimine etkisi (Ultrasonik sistem güç değeri: 90 watt)

Aglomerasyon süresinin kömürün kül içeriği ve yanabilir kömür verimine etkisi Şekil 7’de incelenmiş ve daha uzun aglomerasyon sürelerinde yanabilir kömür veriminin azaldığı görülmüştür.

Ultrasonik işlemin kullanıldığı deneylerde de benzer sonuçlar elde edilmiştir, ancak ultrasonik işlemin kül içeriği değerlerini klasik deneylere göre daha fazla azaltırken, yanabilir kömür verim

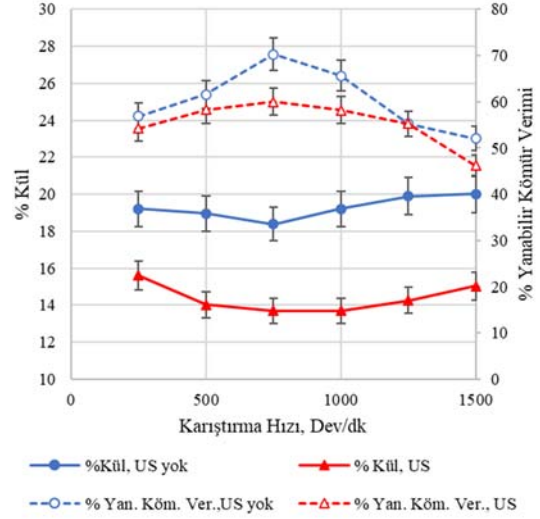


değerlerini de azalttığı kaydedilmiştir. Sonuç olarak, kül içeriği ve yanabilir kömür verimi için optimal değerler 3 dakika aglomerasyon süresi ile elde edilmiştir.



**Şekil 7.** Farklı aglomerasyon sürelerinin linyit süspansiyonunun kül içeriği ve yanabilir kömür verim değerleri üzerindeki etkisi (Atık yağ oranı: %20; Ultrasonik güç değeri: 90 Watt; Ultrasonik işlem süresi : 3 dak.)

Şekil 8, karıştırma hızına bağlı olarak ultrasonik işlem kullanımının kömürün yağ aglomerasyonu üzerindeki etkisinin sonuçlarını açıklamaktadır. Ultrasonik işlem kullanılmadan yapılan deneylerde, 750 Dev/dk karıştırma hızına kadar kül içeriği değerleri azalırken aynı zamanda yanabilir verim değerleri de artmıştır. Ancak 750-1500 Dev/dk arasındaki daha yüksek karıştırma hızları, kömür-yağ aglomerelerinin parçalanması ve yanabilir kömür veriminin azalmasıyla sonuçlanmıştır. Literatürde karıştırma hızının kömür -yağ aglomerasyonuna etkisini ortaya koyan birçok çalışmada da benzer bulgular bulunmuştur [54,55]. Ultrasonik işlem uygulanan deneylerde ise, kül içeriği ve yanabilir kömür verim değerleri benzer şekilde değişmekle birlikte klasik deneylere kıyasla daha düşük kül içeriği ve daha düşük verim değerleri elde edilmiştir.



**Şekil 8.** Farklı karıştırma hızlarına bağlı olarak linyit süspansiyonunun kül içeriği ve yanabilir verim değerleri (Atık yağ oranı: % 20; Ultrasonik güç değeri: 90 Watt; Ultrasonik işlem süresi: 3 dak; Aglomerasyon Süresi: 3 dak.)

#### 4. SONUÇLAR

Ultrasonik işlemin güç değerleri ve uygulama süreleri ilgın linyit kömürünün yağ aglomerasyonu üzerinde farklı etkiler yaratmıştır. Ultrasonik işlem uygulanan deneylerde, yüksek güç değerleri ile düşük kül içeriği elde edilirken düşük yanabilir verim değerleri de elde edilmiştir. Ayrıca, kömür süspansiyonunun ultrasonik işleme maruz kalma süresi de kül içeriği ve yanabilir verimde farklı sonuçlar ortaya çıkarmıştır. En iyi sonuçlar 3 dakikalık işlem süresinde elde edilmiştir, ancak sürenin uzamasıyla kül içeriği artmaya yanabilir verim de azalmaya başlamıştır. Düşük yağ oranları kömür ince parçacıklarının aglomerasyonu için yetersiz kalırken, yüksek yağ oranları aglomeraların küresel şeklinin bozulmasına neden olmuş ve yanabilir kömür verimini azaltmıştır. Bu nedenle, çalışılan deneysel koşullarda % 20 atık yağ oranının uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, karıştırma hızı olarak 750 devir/dakika, aglomerasyon için yeterli olmuştur, ancak daha yüksek karıştırma hızları süreci olumsuz etkilemiştir. Sonuç olarak, atık Ayçiçek yağı varlığında ultrasonik muamele ile



26.02% kül içeriğine sahip kömürün kül içeriği ultrasonik işlem uygulanması ile 10.01 % değerine düşürülmüştür. Elde edilen nihai ürünün kalorifik değeri ise 4921 kcal/kg olarak bulunmuştur.

## 5. KAYNAKLAR

1. Gürses, A., Doymuş, K., Bayrakçeken, S., 1996. Selective Oil Agglomeration of Brown Coal: A Systematic Investigation of the Design and Process Variables in the Conditioning Step. *Fuel*, 75(10), 1175-1180.
2. Özer, M., Basha, O.M., Morsi, B., 2017. Coal-Agglomeration Processes: A review. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 37(3), 31-167.
3. Keller, Jr.D., Burry, W., 1987. An Investigation of a Separation Process Involving Liquid Water Coal Systems. *Colloids and Surfaces*, 22(1), 37-50.
4. Capes, C., Jonasson, K., 1989. Application of Oil-Water Wetting of Coals in Beneficiation. *Interfacial Phenomena in Coal Technology. Surfactant Science Series*, (1nd ed.), 115-155.
5. Petela, R., Ignasiak, B., Pawlak, W., 1995. Selective Agglomeration of Coal: Analysis of Laboratory Batch Test Results. *Fuel*, 74, 1200-1210.
6. Cebeci, Y., Eroğlu, N., 1998. Determination of Bridging Liquid Type in Oil Agglomeration of Lignite. *Fuel*, 77, 419-424
7. Ünal, İ., Aktaş, Z., 2001. Effect of Various Bridging Liquids on Coal Fines Agglomeration Performance. *Fuel Processing Technology*, 69, 141-55.
8. Alonso, M.I., Valdés, A.F., Martinez-Tarazona, R.M., Garcia, A.B., 2002. Coal Recovery from Fines Cleaning Wastes by Agglomeration with Colza oil: A Contribution to the Environment and Energy Preservation. *Fuel Processing Technology*, 75, 85-95.
9. Cebeci, Y., 2003. Investigation of Kinetics of Agglomerate Growth in Oil Agglomeration Process. *Fuel*, 82, 1645-1651.
10. Yadav, A.M., Suresh, N., Sundaram, A., Painkra, P., Raja, A.K., Arsha, M.D., 2017. 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.
11. Yadav, A.M, Singhal, H., Agarwal, D., Suman, S., 2021. Recovery of Energy Values from High-ash Content Washery Tailings Using Waste Oils by Oil Agglomeration. *Separation Science and Technology*, 1-13.
12. Eşmeli, K., 2023. Improvement of Lignite Oil Agglomeration by Ultrasound Process Using Waste Engine Oil. *Particulate Science and Technology*, 41(4), 544-554.
13. Çelik, M.S., 1989. Effect of Ultrasonic Treatment on the Floatability of Coal and Galena. *Separation Science and Technology*, 24 (14), 1159-1166.
14. Özkan, Ş.G., Kuyumcu, H.Z., 2006. Investigation of Mechanism of Ultrasound on Coal Flotation. *International Journal Mineral Processing*, 81(3), 201-203.
15. Özkan, Ş.G., Kuyumcu, H.Z., 2007. Design of a Flotation Cell Equipped with Ultrasound Transducers to Enhance Coal Flotation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14(5), 639-645.
16. Farmer, A.D, Collings, A.F, Jameson, G.J. 2000. Effect of Ultrasound on Surface Cleaning of Silica Particles. *Int. J. Miner. Process.*, 60, 101-113.
17. Özkan, Ş.G., Güngören, C., 2012. Enhancement of Colemanite Flotation by Ultrasonic Pre-treatment. *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, 48, 455-462.
18. Videla, A.R, Morales, R., Saint-Jean, T., Gaete, L., Vargas, Y., Miller, J.D., 2016. Ultrasound Treatment on Tailings to Enhance Copper Flotation Recovery. *Miner. Eng.* 99, 89-95.
19. Ghadyani, A., Noaparast, M., Ziaedin, S., Tonkaboni, S., 2017. A Study on the Effects of Ultrasonic Irradiation as Pretreatment Method on High-ash Coal Flotation and Kinetics a Study on the Effects of Ultrasonic Irradiation as Pretreatment Method on High-ash Coal flotation and Kinetics. *Int J Coal Prep Util*, 38(7), 374-391.

20. Cao, Q., Cheng, J., Feng, Q., Wen, S., Luo, B., 2017. Surface Cleaning and Oxidative Effects of Ultrasonication on the Flotation of Oxidized Pyrite. *Powder Technol.*, 311, 390-397.
21. Peng, Y., Mao, Y., Xia, W., Li, Y., 2018. Ultrasonic Flotation Cleaning of High-ash Lignite and its Mechanism. *Fuel*, 220, 558-566.
22. Mao, Y., Peng, Bu, X., Xie, G., Wu, E., Xia, W., 2018. Effects of Ultrasound on the True Flotation of Lignite and its Entrainment Behavior. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 40, 940-950.
23. Güngören, C., Özdemir, O., Wang, X., Özkan, Ş.G., Miller, J., 2019. Effect of Ultrasound on Bubble-Particle Interaction in Quartz-Amine Flotation System. *Ultrason. Sonochem.*, 52, 446-454.
24. Güngören, C., Bakhtarhan, Y., Demir, İ., Özkan, Ş.G., 2020. Enhancement of Galena-Potassium Ethyl Xnathate Flotation System by Low Power Ultrasound. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 30, 1102-1110.
25. Çilek, E.C, Özgen, S., 2009. Effect of Ultrasound on Separation Selectivity and Efficiency of Flotation. *Miner. Eng.*, 22, 1209-1217.
26. Mao, Y., Bu, X., Peng, Y., Tian, F., Xie, G., 2020. Effects of Simultaneous Ultrasonic Treatment on the Separation Selectivity and Flotation Kinetics of High-ash Lignite. *Fuel*, 259(1), 116270.
27. Altun, N.E, Hwang, J.Y, Hiçyılmaz, C., 2009. Enhancement of Flotation Performance of Oil Shale Cleaning by Ultrasonic Treatment. *Int. J. Miner. Process.*, 91(1-2), 1-13.
28. Özkan, Ş.G., 2012. Effects of Simultaneous Ultrasonic Treatment on Flotation of Hard Coal Slimes. *Fuel*, 93, 576-580.
29. Xu, M., Xing, Y., Gui, X., Cao, Y., Wang, D., Wang, L., 2017. Effect of Ultrasonic Pretreatment on Oxidized Coal Flotation. *Energy Fuels*, 31, 14367-14373.
30. Mao, Y., Xia, W., Peng, Y., Xie, G., 2019a. Ultrasonic-Assisted Flotation of Fine Coal: A Review. *Fuel Process. Technol.*, 195, 106150.
31. Mao, Y., Chen, Y., Bu, X., Xie, G., 2019b. Effects of 20 kHz Ultrasound on Coal Flotation: The Roles of Cavitation and Acoustic Radiation Force. *Fuel*, 256, 115938.
32. Yasuda, K., Matsushima, H., Asakura, Y., 2019. Generation and Reduction of Bulk Nanobubbles by Ultrasonic Irradiation. *Chem Eng. Sci.*, 195, 455-461.
33. Jin, L., Wang, W., Tu, Y., Zhang, K., Lv, Z., 2021. Effect of Ultrasonic Standing Waves on Flotation Bubbles. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105459.
34. ASTM D 3173-03, 2010. Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke, 3.
35. ASTM D 3174-04, 2010. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal, 5.
36. ASTM D 5865-10a, 2010. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke, 14.
37. 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, 873-883.
38. Shen, M., 1999. Development and Scale-up of Particle Agglomeration Processes for Coal Beneficiation. PhD. Thesis, Iowa State University, Ames, Iowa, 167
39. Toraman, Ö.Y., 2017. Experimental Investigations of Preparation of Calcite Particles by Ultrasonic Treatment. *Physicochem Prob. Miner. Process.*, 53, 859-68.
40. Barma, S.D., 2019. Ultrasonic-assisted coal beneficiation: A Review. *Ultrason. Sonochem.* 50, 15-35.
41. Şahinoglu, E., Uslu, T., 2013a. Increasing Coal Quality by Oil Agglomeration After Ultrasonic Treatment. *Fuel Processing Technology*, 116, 332-338.
42. Şahinoglu, E., Uslu, T., 2013b. Use of Ultrasonic Emulsification in Oil Agglomeration for Coal Cleaning. *Fuel*, 113.
43. Chen, Y., Truong, V.N.T, Bu, X, Xie G., 2020. A Review of Effects and Applications of Ultrasound in Mineral Flotation. *Ultrason. Sonochem.* 60, 104739.
44. Hassanzadeh, A., Sajjady, S.A., Gholami, H., Amini, S., Özkan, Ş.G., 2020. An Improvement

- on Selective Separation by Applying Ultrasound to Rougher and Re-cleaner Stages of Copper Flotation. *Minerals*, 10(7), 619.
45. Özkan, Ş.G., 2017. Further Investigations on Simultaneous Ultrasonic Coal Flotation. *Minerals*, 7(10), 177.
  46. De Castro, M.L., Priego-Capote, F., 2007. Ultrasound-Assisted Crystallization (Sonocrystallization). *Ultrason. Sonochem*, 14, 717-724.
  47. Eşmeli, K., 2023. The Effect of Ultrasound Treatment on Oil Agglomeration of Barite. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 44(3), 189-200
  48. Ambedkar, B., Chintala, T.N., Nagarajan, R., Jayanti, S., 2011a. Feasibility of Using Ultrasound Assisted Process for Sulfur and Ash Removal from Coal. *Chem. Eng. Process.*, 50(3), 236-246.
  49. Kang, W., Xun, H., Chen, J., 2007. Study of Enhanced Fine Coal De-Sulphurization and De-Ashing by Ultrasonic Flotation. *Journal of China University of Mining and Technology*, 17(3), 358-362.
  50. Yazıcı, E.Y., Deveci, H., Alp, İ., Uslu, T., 2007. Generation of Hydrogen Peroxide and Removal of Cyanide from Solutions Using Ultrasonic Waves. *Desalination*, 216(1-3), 209-221.
  51. Şahinoglu, E., Uslu, T., 2008. Amenability of Muzret Bituminous Coal to Oil Agglomeration. *Energy Convers Manage*, 49, 3684-3690.
  52. Royaei, M.M., Jorjani, E., Chelgani, S.C., 2012. Combination of Microwave and Ultrasonic Irradiations as a Pretreatment Method to Produce Ultraclean Coal. *Int J Coal Prep Util*, 32, 143-155.
  53. Zhang, H.X., Bai, H.J., Dong, X.S., Wang, Z.Z., 2012. Enhanced Dsulfurizing Flotation of Different Size Fractions of High Sulfur Coal using Sono Electrochemical Method. *Fuel Process. Technol.*, 97, 9-14.
  54. Cebeci, Y., Sönmez, İ., 2002. The Investigation of Coal-Pyrite/Lignite Concentration and their Separation in the Artificial Mixture by Oil Agglomeration. *Fuel*, 81, 1139-1146.
  55. Cebeci, Y., Sönmez, İ., 2006. Application of the Box-Wilson Experimental Design Method for the Spherical Oil Agglomeration of Coal. *Fuel*, 85, 289-297.

