

AZDAVAY KÖMÜRÜNÜN YAĞ AGLOMERASYONU VE BAZI ÖNEMLİ ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Oil Agglomeration of Azdavay Coal and Determination of the Effects of Some Important Operating Parameters

Geliş (received) 28 Nisan (April) 2008; Kabul (accepted) 02 Haziran (June) 2008

Hasan HACIFAZLIOĞLU(*)

ÖZET

Bu çalışmada, Azdavay (Kastamonu) kömürünün yağ aglomerasyonu ve bazı çalışma parametrelerinin aglomerasyon verimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan Azdavay bitümlü kömürünün ortalama kül, kükürt, uçucu madde ve sabit karbon içerikleri sırasıyla %29,40; %1,60; %26,40 ve %44,20'dir. Örnek kömürün tamamı kademeli olarak merdaneli değirmende öğütülerek -212 µm'lik eleğin altına geçirilmiştir. Yapılan aglomerasyon çalışmalarında, bağlayıcı yağ olarak heptan, hegzan ve gazyağı olmak üzere 3 farklı tipte yağ kullanılmıştır. Aglomerasyonda etkili olan katı oranı, karıştırma hızı ve karıştırma süresinin kömür kazanımı ve aglomerat külü üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneyler sonucunda, yağ tipinin ve miktarının diğer parametrelere göre aglomerasyon verimi üzerinde daha etkili olduğu ve gazyağının en yüksek verimi sağladığı görülmüştür. Hafif yağlardan heptan ve hegzan ise güçlü aglomeratlar oluşturamamış ve bu yüzden düşük kömür kazanımlarına neden olmuştur. Katı oranının optimum değeri %20 iken, karıştırma hızı ve süresinin optimum değerleri sırasıyla 800 dev/dak ve 10 dakika olarak bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: Yağ Aglomerasyonu, Bitümlü Kömür, Heptan, Hegzan, Gazyağı

ABSTRACT

In this study, oil agglomeration of Azdavay (Kastamonu) coal and the effects of some operating parameters on agglomeration performance are investigated. The average amounts of ash, sulfur, volatile matter and fixed carbon contents of Azdavay bituminous coal used in the experiments are 29,40%; 1,60%; 26,40% and 44,20%, respectively. The whole sample coal was gradually ground in a roller-mill to pass through a 212-µm sieve. In the agglomeration studies, three different oil types, namely heptane, hexane and kerosene were used as bridging oils. The influences of the solids ratio, mixing speed and mixing duration on coal recovery and agglomerate ashes were investigated. The results of the experiments demonstrated that, compared to other parameters, oil type and amount were more effective on agglomeration performance; and among all oil types, kerosene gave the best performance results. Light oils, heptane and hexane, could not form strong agglomerates and, therefore, caused poor coal recoveries. The optimum ratio of solid was 20% and optimum mixing speed and mixing duration were 800 rpm and 10 minutes, respectively.

Keywords: Oil Agglomeration, Bituminous Coal, Heptane, Hexane, Kerosene

(*) Maden Yük. Müh., hhacifazlioglu@yahoo.com

1. GİRİŞ

Yağ aglomerasyonu, ince boyutlu kömürlerden kül yapıcı mineral maddelerin ve inorganik kükürdün uzaklaştırılması için flotasyona alternatif olarak geliştirilmiş olan bir zenginleştirme yöntemidir. Genellikle, flotasyonla zenginleştirilemeyen çok ince boyutlu tanelerin kazanılmasında oldukça etkili bir yöntem olarak bilinmektedir. Flotasyonla karşılaştırıldığında en önemli avantajları; yüksek verim ve seçicilik sağlaması, kil, kül ve oksidasyonun daha az etkin olması, basit uygulanabilmesi ve çoğu zaman düşük nemli ürünler vermesi nedeniyle filtrasyona veya termal susuzlandırmaya ihtiyaç duyulmamasıdır (Yoon, 1991; Yamık vd., 1994; Uçbaşı vd., 1998; Cebeci vd., 2002).

Aglomerasyon yönteminde, bir tank içerisindeki su-kömür karışımına belli bir oranda (genellikle ağırlıkça %5-%30 kadar) yağ ilave edilmekte ve bu karışım yüksek hızlı bir karıştırıcıyla belli bir süre karıştırılmaktadır. Karıştırma esnasında, hidrofobik olan kömür tanecikleri önce yağ damlacıklarıyla kaplanmakta, daha sonra birbirleri ile çarpışarak kömür aglomeratlarını meydana getirmektedir. Bu esnada, kömüre göre daha düşük hidrofobluğa sahip şist, kritik bir yağ konsantrasyonunda yeterince yağ ile ıslanmadığı için ve/veya daha önceden su ile ıslandığı için aglomerat oluşturamamakta ve dağılık bir şekilde süspansiyon içerisinde kalmaktadır. Aglomerasyon sonucunda, elde edilen kömür aglomeratları ve dağılık şist, beslenen kömürün tane boyundan daha büyük bir açıklığa sahip eleklerle elenmesi durumunda, kömür aglomeratları elek üzerinde kalmakta, şist ise elek altına geçerek ayırma gerçekleştirilmektedir. Eleme ile ayırma yönteminde, oldukça iri ve sağlam aglomeratların oluşturulması aglomerasyon verimi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu yüzden, elemeli ayırma işleminde, yüksek miktarlarda yağ kullanılmakta (ağırlıkça %10-50) ve aglomeratların hem boyutları hem de sağlımlıkları artırılmaktadır. Daha sonra geliştirilen, "agloflotasyon" yönteminde ise ayırma işlemi flotasyonla gerçekleştirilmektedir. Flotasyonla ayırmada, çok iri ve çok sağlam aglomeratlara gerek duyulmamakta ve dolayısıyla yağ sarfiyatı da (ağırlıkça %1-%6) o derece düşük olmaktadır (Capes, 1991).

Yağ aglomerasyonu işleminde, verimi ve maliyeti etkileyen en önemli iki parametre kullanılan

yağ miktarı ve yüksek devirli karıştırma hızıdır. Kömürün ağırlıkça %10-50'si oranında kullanılan yağlar (bağlayıcılar); heptan, pentan, heksan ve toluen gibi hafif yağlar (<0,7 g/cm³); gazyağı, parafin ve motorin gibi orta yağlar ve fuel oil (No.6), kömür katranı, ham petrol ve kreosot gibi ağır yağlardır (>0,9 g/cm³). Bu yağlar ayrı ayrı kullanılabilir gibi, ekonomik ve etkili olması bakımından karışım halinde de kullanılabilir. Yağ maliyetinin önemli sakınca oluşturması nedeniyle, son yıllardaki çalışmalar daha çok yağı geri kazanma üzerine odaklanmıştır (Hoşten ve Uçbaşı, 1989; Capes, 1991; Özbayoğlu, 1998; Baruah vd., 2000). Özellikle pentan, heptan, 2-metil bütan, metil klorit, Freon 113 gibi düşük kaynama sıcaklığına sahip yağlarla çalışmalar devam etmektedir. Bu yağlar, buharlaştırma yolu ile diğer ağır yağlara (dizel, fuel oil vb) göre daha kolay geri kazanılabilmektedir. Örneğin, 2-metil bütan 28°C'de, pentan ise 36°C'de buharlaşmaya başlamakta ve kolaylıkla geri kazanılabilmektedir (Yoon, 1991). Diğer taraftan, aglomerasyonda yenilenebilir ucuz yağlara doğru bir yöneliş söz konusudur. Örneğin, bitkisel kökenli yağlardan soya, kolza, zeytin ve ayçiçek yağı ile yapılan aglomerasyon çalışmalarından olumlu sonuçlar alınmaktadır. Özellikle, kullanılmış artık yağların bu alanda kullanılması, gerek çevre gerekse maliyet açısından aglomerasyonu cazip hale getirmektedir. Bitkisel kökenli yağların heptan, pentan gibi pek çok hafif petrol yağları kadar iyi sonuçlar verdiği pek çok araştırmacı tarafından belirtilmektedir (Garcia vd., 1996; Alonso vd., 1999; Alonso vd., 2002; Valdes ve Garcia, 2006).

Yağ aglomerasyonu yöntemleri önemli avantajlara sahip olmasına rağmen, endüstriyel ölçekte çok fazla uygulama alanı bulamamıştır. En bilinen yağ aglomerasyonu yöntemleri; Trent, Convertol, Olifloc, Arcanum/Bechtel, Agfloat, Agflotherm, Otisca-T, ve Likado yöntemleridir. Trent yöntemi, en basit ve ilk ticarileştirilen yöntem olup, yüksek miktarlardaki yağla (>%20) kömürün yüksek sürelerde ve yüksek hızlarda karıştırılması esasına dayanır. Daha sonra, yağ oranının ve karıştırma süresinin azaltılması amacıyla Almanya'da Convertol yöntemi geliştirilmiş ve kullanılan yağ oranı %2'lere, karıştırma süresi ise 15 saniyeye kadar düşürülmüştür (Yoon, 1991). Olifloc yöntemi ise, Convertol yönteminin gelişmiş bir versiyonu olup, siklon üst akımı kömürler için yeniden modifiye

edilmiştir (Bogenschnieder vd., 1976). Arcanum/Bechtel yöntemi, Olifloc yöntemi gibi olup, yalnızca aglomeratların büyütülmesi için %2-3 oranında asfaltit kullanılmaktadır (Huettenhain, 1991; Balzarini and Hucko, 1991). Aglofloat yönteminde, %1-5 oranındaki orta yağlar yüksek hızlı karıştırıcı ile karıştırılmakta ve elde edilen aglomeratlar flotasyonla alınmaktadır. Bu yöntemle özellikle kül ve piritik kükürt %80-90'a varan oranlarda giderilebilmektedir (Ignasiak vd., 1994; Pawlak ve Szymocha, 1999). Agflotherm yöntemi, düşük ranklı kömürlerin zenginleştirilmesi için geliştirilmiş olan ve aglomerasyona ısısal müdahalenin yapıldığı bir yöntemdir (Pawlak, vd., 1998; Szymocha, 2003). Otisca-T yöntemi, özellikle yağın geri kazanımı üzerine geliştirilmiş olan bir yöntemdir. Bu yöntemde, ilk başlarda aglomera edici olarak düşük kaynama sıcaklığına sahip Freon 113 kullanılmıştır. Ancak, bu bağlayıcının ozon tabakasına zararlı etkisi nedeniyle yine düşük bir kaynama sıcaklığına sahip pentanla çalışmalara devam edilmiştir. Likado yönteminde, bağlayıcı olarak sıvı karbondioksit kullanılmaktadır. Sıvı karbondioksit kömür taneciklerini oldukça etkili bir şekilde aglomere etmektedir. Daha sonra, oluşan aglomeratlardan CO₂ kolaylıkla geri kazanılabilmektedir. Ancak bu yöntemde, CO₂'nin sıvı halde tutulabilmesi için yüksek basınç altında çalışılması zorunluluğu önemli bir maliyet oluşturmaktadır (Yoon, 1991).

Küresel aglomerasyon kavramı, önce hafif yağlarla yüksek hızlı karıştırıcıda mikro agromeratların oluşturulması, daha sonra ağır yağlarla düşük karıştırma hızında aglomerat çaplarının büyütülerek şist-aglomerat ayrımının gerçekleştirilmesini ifade etmektedir (Capes vd., 1976; Capes, 1991). Bu yöntemin en büyük avantajı, elde edilen ürünün %10 gibi düşük oranda nemli olması ve son aşamada kurutmaya çoğu zaman ihtiyaç duyulmamasıdır. Yukarıda belirtilen alternatif yöntemlerden Arcanum/Bechtel ve Olifloc yöntemleri küresel aglomerasyona örnek olarak verilebilir.

Literatürde, yağ aglomerasyonu ile ilgili çok fazla endüstriyel ölçekli çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak bu konu ile ilgili deneysel ölçekte pek çok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Hoşten ve Uçbaş (1989) Zonguldak kömürleri ile yaptıkları çalışmada yüksek küllü (%45-50) bitümlü kömürden, %8-10 küllü temiz kömürler elde etmişlerdir. Aynı çalışmada,

aglomerasyonun flotasyona göre daha avantajlı ve ekonomik olduğu, ayrıca kullanılan yağın (gazyağı ve solvent nafta) verim üzerinde büyük bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Yamık ve arkadaşları (1994) Seyitömer linyitine ağırlıkça %20 gazyağı ilavesiyle aglomerasyon uygulamışlardır. Ancak, Seyitömer kömürünün yeterince hidrofob olmaması nedeniyle olumlu sonuçlar alınamamıştır. Ünal ve arkadaşları (2000) tarafından Zonguldak bitümlü kömürünün aglomerasyonu için farklı yağlar denenmiştir. Gazyağı, motorin ve Kerkük ham petrolu ile yapılan çalışmalar sonucunda en uygun yağın gazyağı olduğu belirtilmiş ve ağırlıkça %15 gazyağı ilavesi ile %8,32 küllü kömürler üretilmiştir. Aktaş (2002) tarafından Zonguldak kömürleriyle yapılan bir başka çalışmada ise aglomerasyona yüzey aktif madde Triton X-100 ilavesi yapılmış, ancak verimde bir artış sağlanamamıştır. Abakay ve arkadaşları (2004) tarafından yapılan çalışmada, aglomerasyon için göl ve deniz suyu denenmiş, ancak sonuçlar musluk suyuna göre daha başarısız bulunmuştur. Uslu ve arkadaşları (2006), Yusufeli bitümlü kömürüne uyguladıkları aglomerasyon ile, piritik kükürdü %5,26'dan %1,33'e düşürmüşlerdir. Deneylerde aglomere edici olarak kömür ağırlığının %27'si kadar gazyağı kullanılmış ve aglomeratlar (kömür) bir elekten, dağılmış pirit taneciklerinden ayrılmıştır. Gence (2006) %49,49 küllü Zonguldak kömürlerinin heptan, pentan, toluen ve heksan ile aglomerasyonunu araştırmış ve en yüksek verimi heksan ile elde etmiştir. Deneyler sonucunda %10,87 küllü temiz kömür %92,17 yanabilir verimle kazanmıştır. Abakay (2007) tarafından Hazro kömürü ile yapılan agloflotasyon çalışmasında ise, külün %43,98'i, kükürdün ise %39,15'i, %86,59'luk bir yanabilir verimle giderilmiştir. Şırnak asfaltitinden ise, külün %34,01'i, kükürdün ise %34,78'i, %74,74 ağırlıkça verim değeriyle giderilmiştir.

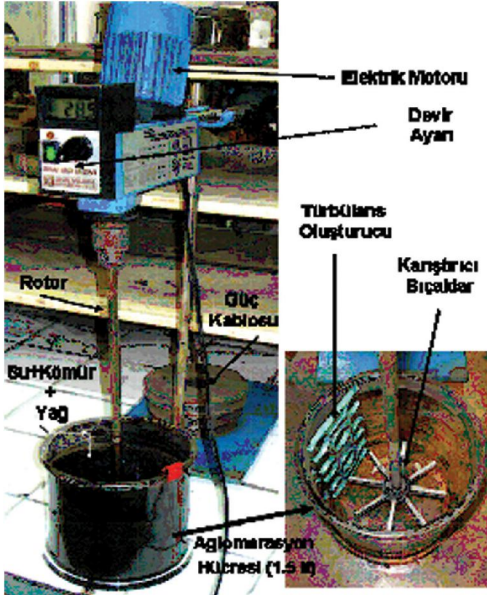
Bu çalışmada, Azdavay damar kömürünün aglomerasyonu ve aglomerasyon verimi üzerinde etkili olan bazı önemli parametreler incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Yağ Aglomerasyonu Deneysel Düzenekleri

Yağ Aglomerasyonu deneyleri, Şekil 1'de gösterilen motor gücü 70 watt olan RW 20 DZM

markalı düşük devirli bir mekanik karıştırıcı ile yapılmıştır. Karıştırıcının en yüksek ve en düşük karıştırma hızları sırasıyla 1000 ve 100 dev/dk'dır. Karıştırma işlemi, 1,5 litrelik cam kap içerisinde ve kap tabanından 1 cm yükseklikte bulunan 8 adet karıştırıcı kanatçık (bıçak) ile yapılmıştır. Cam kap içerisine, tanecik-yağ çarpışmalarının artırılması ve daha etkili bir karıştırmanın sağlanması amacıyla, pülp akışını çeşitli yönlerde kesen bir türbülans oluşturuçu yerleştirilmiştir. Deneylerin tümünde musluk suyu kullanılmış ve aksi belirtilmediği sürece doğal pH (kömür+su+yağ karışımının pH'sı); katı oranı ağırlıkça %20; karıştırma süresi 5 dakika ve karıştırma hızı 800 dev/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. İlave edilen bağlayıcı miktarı kömürün kuru bazda ağırlıkça yüzdesi olacak şekilde hesaplanmıştır.



Şekil 1. Yağ aglomerasyonu deney düzeneği.

Aglomerasyon deneylerinde, zamandan tasarruf ve karıştırma maliyetinin azaltılması amacıyla ön kıvamlandırma süresi kısa (1 dakika) tutulmuştur. Daha sonra, su ve kömür karışımına bağlayıcı yağ ilavesi yapılmış ve 5 dakika karıştırılan pülp ile aglomeratlar elde edilmiştir. Deneyler esnasında, cam kaptaki kömürlerin aglomeratlar halinde pülpün üst kısımlarında biriktiği, artığın (şistin) ise kabın alt kısmında kaldığı gözlemlenmiştir. Daha sonra, aglomeratlar ve dağıntık şist 300 µm'lik bir eleğin üzerine dökülmüş, elek üstünde kalan aglomeratlar ile elek altına geçen artıklar elde edilmiştir. Her iki ürün asetonla yıkandıktan

sonra, önce açık havada, daha sonra 100-105°C derecelik bir etüvde kurularak kuru bazda temel analizleri yapılmıştır.

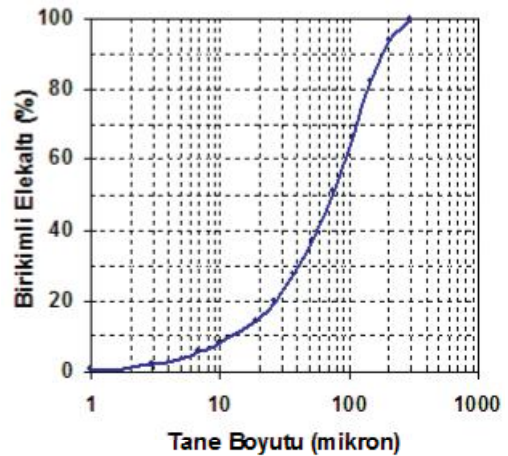
Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan yanabilir verim ve kül giderimi formülleri aşağıda verilmiştir. Burada; M_a : aglomeratın (temiz kömürün) kuru bazda ağırlığı (%), M_b : beslenen kömürün kuru bazda ağırlığı (%), K_a : aglomeratın (temiz kömürün) kuru bazda kül içeriği; K_b : Beslenen kömürün kuru bazda kül içeriğidir.

$$\text{Yanabilir Verim} = \frac{M_a \times (100 - K_a)}{M_b \times (100 - K_b)} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Kül Giderimi} = \left(1 - \frac{K_a}{K_b}\right) \times 100 \quad (2)$$

2.2 Kömür Örneğine Ait Özellikler

Aglomerasyon deneylerinde kullanılan kömür örneği, Azdavay (Kastamonu) damar kömürüdür. En büyük tane boyutu 10 cm olan kömür örneği önce çeneli kırıcıdan, daha sonra konili kırıcıdan geçirilerek tamamı 2,36 mm'nin altına kırılmıştır. Daha sonra merdaneli öğütücü (kırıcı) ile kademeli olarak tamamı 212 µm'nin altına indirilmiştir. Aglomerasyon deneylerinde kullanılan örneğin Malvern lazer boyut analiz cihazı ile belirlenen boyut dağılımı eğrisi Şekil 2'de, bu kömüre ait orijinal ve kuru bazdaki kısa kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Aglomerasyon deneylerinde kullanılan örneğin tane boyut dağılımı.

Çizelge 1. Örnek Kömürün Kimyasal Analiz Sonuçları

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	4,50	-
Kül (%)	28,08	29,40
Kükürt (%)	1,53	1,60
Uçucu Madde (%)	25,21	26,40
Sabit Karbon (%)	42,21	44,20
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	5300	5520

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

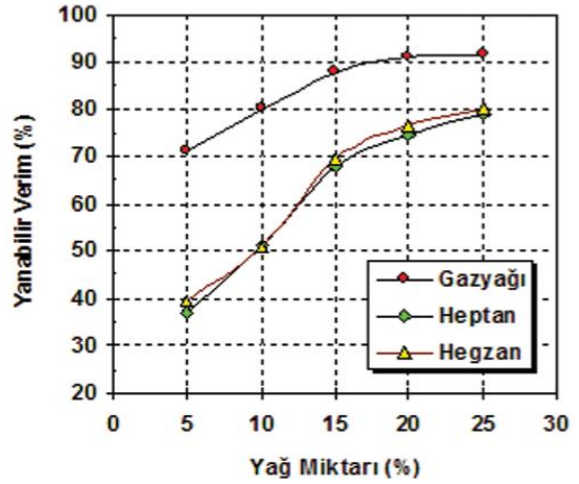
3.1 Bağlayıcı Tipi ve Miktarının Etkisi

Genellikle gazyağı, motorin ve fuel oil (No.2) gibi orta yoğunluklu (0,7-0,9 g/cm³) yağların yüksek kül giderimi ve yüksek kömür kazanımları sağladığı belirtilmektedir. Düşük yoğunluklu yağlar, düşük vizkoziteleri nedeniyle kömür tanecikleri arasında zayıf hidrokarbon bağları oluşturmaktadır. Yüksek yoğunluklu yağlar ise, yüksek vizkoziteleri ve yüksek yüzey gerilimleri nedeniyle daha güçlü bağlar oluşturmaktadır. Ancak, bu tip yağların pülp içerisinde homojen dağılamaması nedeniyle kömür kazanımını olumsuz yönde etkilemektedir (Capes, 1991; Yoon, 1991).

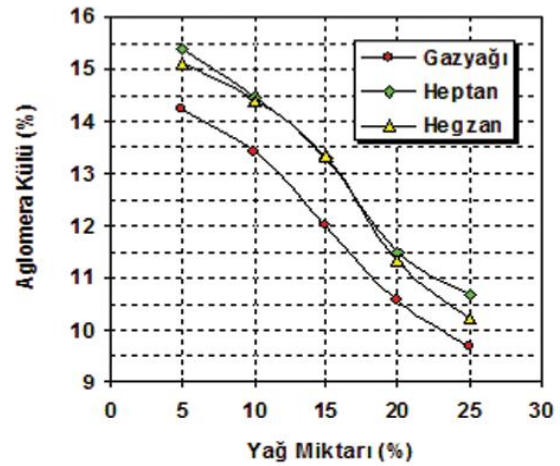
Azdavay kömürünün aglomerasyonu için hegzan (C₆H₁₄), heptan (C₇H₁₆) ve gazyağı olmak üzere 3 farklı tipte yağ denenmiştir. Bu yağların 25 °C sıcaklıkta yoğunlukları sırasıyla 0,66, 0,68 ve 0,78 g/cm³'tür. Farklı yağlarla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 3 ve 4'de gösterilmiştir.

Şekil 3 ve 4'den görülebileceği gibi, Azdavay kömürünün aglomerasyonunda hafif yağlardan heptan ve hegzan ile yaklaşık olarak benzer yanabilir verimli ve benzer küllü aglomeratlar (temiz kömürler) elde edilmiştir. Ancak, heptan ve hegzan hem kül giderimi hem de yanabilir verim bakımından gazyağına göre daha kötü sonuçlar vermiştir. Gazyağı ile yanabilir verim %90'ı geçmekte iken, heptan ve hegzan ile %80'e kadar ulaşmıştır. Ayrıca, gazyağı miktarının %20 'yi geçmesi durumunda yanabilir verim çok fazla değişmezken, heptan ve hegzanın kullanılması durumunda yanabilir verim artışı %20'nin üzerindeki değerlerde de devam etmiştir. Bu durum, heptan ve hegzanın düşük yoğunlukları nedeniyle gazyağına göre daha fazla miktarlarda

daha etkili olduğunun bir göstergesidir. Başka bir deyişle, heptan ve hegzanın oluşturduğu zayıf bağlar, ancak onların daha yüksek konsantrasyonları sayesinde daha güçlü bağlara dönüşmektedir. Diğer yandan, yağ miktarının aşırı artması ile yeterince serbestleşmemiş kenetli tanelerde aglomere olmakta ve aglomerat küllü artmaktadır.



Şekil 3. Aglomerasyonda farklı bağlayıcı yağların yanabilir verime etkisi.



Şekil 4. Aglomerasyon da farklı bağlayıcı yağların aglomerat küllüne etkisi.

Genel olarak, yağ miktarının %5'den %25'e artırılmasıyla hem verim artmakta hem de aglomerat küllü düşmektedir. Ayrıca, deneyler esnasında, yağ miktarının artışına bağlı olarak, hem aglomerat boyutunun büyüdüğü hem de

elde edilen konsantrenin nem içeriğinin düştüğü gözlemlenmiştir. Bir diğer deyişle, yüksek (>%15) yağ oranlarında daha sıkı ve daha az su boşluğu bulunan aglomeratlar elde edilmiştir. Dolayısıyla, yüksek yağ konsantrasyonunda, tüm boşlukların yağ ile dolması daha güçlü bağların oluşmasını sağlamış ve eleme/yıkama esnasında daha az miktarda aglomerat bozulması nedeniyle yüksek yanabilir verimler elde edilmiştir. Düşük yağ konsantrasyonlarında ise, aglomeratlar daha güçsüz olup, gevşek floklar şeklinde ve daha yoğun miktarda su barındırmıştır. Bu su ile birlikte hareket eden kil ve şist ise aglomerat külünün artmasına neden olmuştur. Ayrıca, eleme/yıkama esnasında, aglomeratların kolay bozulması nedeniyle yanabilir verimde de düşmeler meydana gelmiştir.

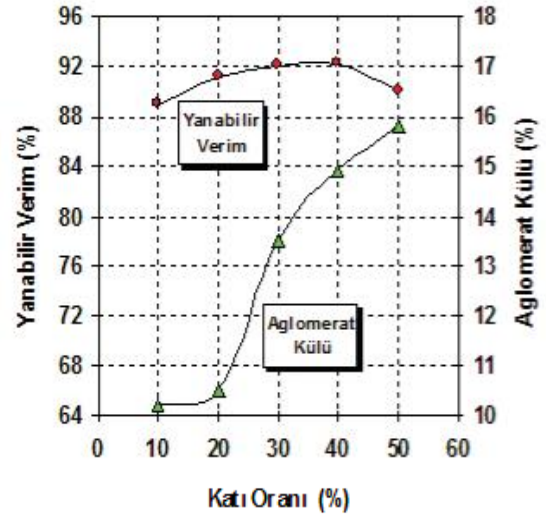
Gazyağının yüksek (örneğin %25) konsantrasyonlarında iri salkımlaşmalar (pastalaşma) meydana geldiği için aglomerat külü önemli ölçüde artmıştır. Bu durum yanabilir verim artışını olumsuz yönde etkilemiştir. Gazyağına göre daha zayıf bağlar oluşturan heptan ve hegzan ise %25'lik konsantrasyonlarda bile küresel aglomeratlar oluşturarak yanabilir verim artışına devam etmişlerdir.

3.2 Katı Oranın Etkisi

Azdavay kömürünün yağ aglomerasyonunda katı oranının verime büyük bir etkisinin olmadığı Şekil 5'den görülmektedir. Ancak, katı oranının %40'a kadar artmasıyla yanabilir verim az da olsa artmıştır. Bu durumun temel nedeni, artan katı miktarıyla kömür taneciklerinin yağ zerrecikleri ile çarpışma olasılığının artmış olmasıdır. Diğer taraftan, yoğun katı miktarı, taneciklerin birbirlerine daha fazla yaklaşmasına neden olmuş ve seçimlilik düşmüştür. Bir diğer deyişle, tanecikler ve/veya aglomeratlar arasında sıkışan çok sayıda şist aglomerat külünü artırmıştır. Kül artışının bir diğer nedeni ise, aglomeratların elek üzerinde yıkanmasının düşük katı miktarlarına göre daha zor olmasıdır. Öyle ki %50 katı oranında aglomerat külü %16'lara kadar yükselmiştir.

%40'ın üzerindeki katı oranlarında, pülpün artan vizkozitesi ve taneciklerin hareketinin yavaşlaması nedeniyle ile aglomerat oluşumu ve aglomerat büyümesi yavaşlamaya başlamıştır. Ayrıca, deneyler esnasında yüksek

katı oranlarında motorun karıştırma gücü de yetersiz kalmış, istenilen karıştırma hızına çok zor ulaşılmıştır. Bu durum, özellikle endüstriyel ölçekte yapılacak olan yüksek katı oranlı aglomerasyon çalışmalarında gereğinden daha güçlü motorların kullanılmasını gerektirecek ve bu da enerji tüketiminin önemli ölçüde artmasına neden olacaktır. Bu yüzden, söz konusu kömürün aglomerasyonunda optimum çalışma koşulu olarak %20 katı oranı tercih edilmiştir.



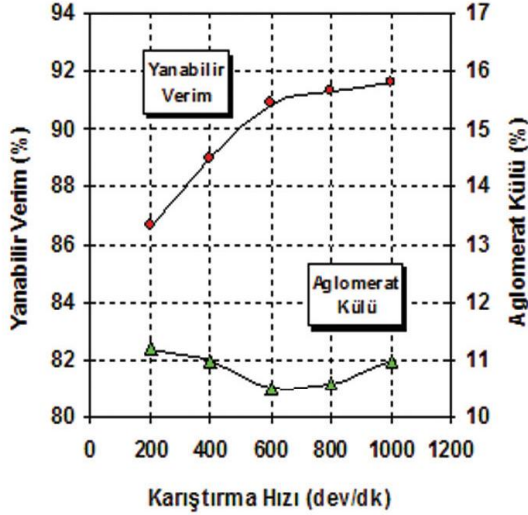
Şekil 5. Aglomerasyonda katı oranının yanabilir verim ve aglomerat külüne etkisi (%15 yağ ilavesi).

3.3 Karıştırma Hızının Etkisi

Aglomerasyon işleminde karıştırma, kömürün topaklanmasını sağlayan en önemli faktördür. Pülpün belli bir süre belli bir hızda karıştırılması verim üzerinde önemli etkiye sahiptir. Çünkü aglomerasyonda, yağ zerreciklerinin ince homojen dağıtılması ve kömür tanecikleri ile çarpıştırılması belli bir süre karıştırma ile mümkün olmaktadır.

Farklı karıştırma hızlarının aglomerasyon verimine etkisinin araştırılması için %15 gazyağı ilavesi, %20 katı oranında 5 dakika süresince aglomerasyon deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen bulgular Şekil 6'da gösterilmiştir. Buna göre, karıştırma hızının 200 dev/dak'dan 1000 dev/dak'ya çıkarılmasıyla yanabilir verimi %86,60'dan %91,60'a artmaktadır. Bu durum, karıştırma hızının artmasıyla taneciklerin birbiri ile ve yağ zerrecikleri ile çarpışma olasılığının artması ve

kömür topraklarını daha kısa sürede meydana getirebilmesi ile açıklanabilir. Ayrıca, deneylerde ön koşullamanın yapılmaması, düşük hızlarda yağın yeterince dağılamamasına ve bunun sonucunda kömür kazanımının düşmesine neden olmuştur. Diğer taraftan, karıştırma hızının artırılması aglomerat küllünde önemli bir değişiklik meydana getirmemiştir. Sonuç olarak, optimum karıştırma hızı olarak 800 dev/dak'lık bir karıştırma hızı tercih edilmiştir.



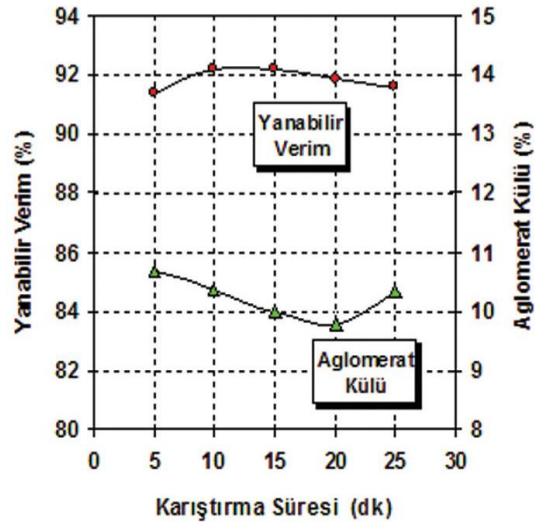
Şekil 6. Aglomerasyonda karıştırma hızının yanabilir verim ve aglomerat külüne etkisi (%15 yağ ilavesi).

3.4 Karıştırma Süresinin Etkisi

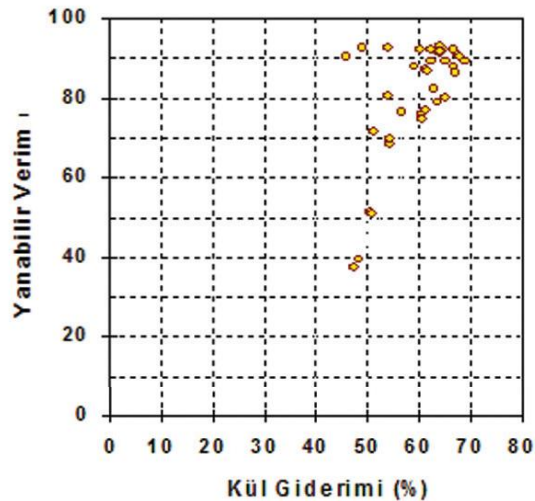
Aglomerasyonda karıştırma süresinin etkisini belirlemek amacıyla 5 farklı karıştırma süresinde (5, 10, 15, 20, 25 dakika), 800 dev/dak'lık bir karıştırma hızında deneyler yapılmıştır. Şekil 7'den görülebileceği gibi, 10-20 dakikalık karıştırma süreleri sonunda yanabilir verimde önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir. Düşük (5 dak) ve yüksek (25 dak) karıştırma sürelerinde yanabilir verim nispeten daha düşüktür. Düşük karıştırma sürelerinde, tanecik-yağ temasları ya da tanecik-yağ bağlanmaları daha düşük olmaktadır. Daha yüksek karıştırma sürelerinde ise temas artmakta ve verim yükselmektedir. Çok yüksek karıştırma sürelerinde ise aglomeratlara şist ve bağlı tanecikler de dahil olmaktadır. Başka bir deyişle, zamanla şistler ve bağlı tanecikler de yağla ıslanmaya başlamaktadır. Bu da kül artışına paralel olarak yanabilir verimde küçük düşüşler meydana getirmektedir.

Aglomerasyon süresinin artışına bağlı olarak,

temiz kömür kül içeriğine bakıldığı zaman, kül içeriğinin 20 dakikalık karıştırmaya kadar düştüğü görülmektedir. Bu durum, uzun karıştırma sürelerinde oluşan aglomeratların daha sağlam, daha az su içerikli ve daha küresel olmasıyla ilişkilidir. Bilindiği gibi, aglomerat yapısı gevşedikçe ve aglomerattaki su miktarı arttıkça aglomerata taşınan/sıkışan gang minerali miktarı artmaktadır. Gerçekten, 5 dakikalık karıştırma süresi sonucunda, 20 dakikalık karıştırmaya göre daha gevşek aglomeratlar oluşmuş ve bunun sonucunda daha yüksek küllü aglomeratlar elde edilmiştir.



Şekil 7. Aglomerasyonda karıştırma süresinin yanabilir verim ve aglomerat külüne etkisi (%15 yağ ilavesi).



Şekil 8. Aglomerasyonda çeşitli parametrelerin yanabilir verim ve kül giderimi üzerine etkisi.

4. SONUÇLAR

Bir aglomerasyon işleminde çeşitli çalışma koşullarının en uygun şartlarda olması gerekmektedir. Şekil 8'de değişik çalışma parametreleriyle yapılan deneylerin toplu sonuçları gösterilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi, uygun olmayan çalışma koşullarında yanabilir verim %30'lara, kül giderimi ise %50'lere kadar düşebilmektedir. Optimum koşullarda ise yanabilir verim %90'ı geçmekte, kül giderimi ise %70'e kadar çıkabilmektedir.

Kömür kazanımı üzerinde en büyük etkiye sahip olan parametre bağlayıcı yağın tipi ve miktarıdır. Hafif yağlardan, heptan ve hegzan ile yüksek verimler elde edilememiş, gazyağı ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Azdavay kömürü için optimum gazyağı miktarı %15'dir.

Katı oranının %10-%40 arasındaki değişiminde, yanabilir verim çok fazla değişmemiştir. Ancak, katı oranının artırılması ile aglomerat külü de artmıştır. %50 katı oranından daha büyük değerlerde, yanabilir verim düşmeye başlamıştır.

Karıştırma hızı ve süresi, tanecik-yağ çarpışması olasılığı ile ilişkili olup, optimum bir değerde olmalıdır. Düşük hız ve sürelerde verim düşük, yüksek hız ve sürelerde verim nispeten daha yüksektir. Azdavay kömürü için optimum karıştırma hızı 800 dev/dak ve optimum karıştırma süresi ise 10 dakikadır.

Yağ aglomerasyonu yöntemi ile, merdaneli değirmende 212 µm'nin altına öğütülmüş olan %29,40 küllü Azdavay kömüründen, ideal koşullarda yaklaşık %10 küllü ürünler %90'ın üzerindeki bir yanabilir verimle elde edilebilmektedir. Kömürün daha ince öğütülmesi durumunda ise tane serbestleşmesinin daha da artacağı ve bunun sonucunda da daha düşük küllü ürünlerin elde edilebileceği tahmin edilmektedir.

KAYNAKLAR

Abakay, H. 2007; "Adıyaman-Gölbaşı Linyitinin Değerlendirilme Olanaklarının Araştırılması", Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD, Eskişehir, s.178.

Abakay, H., Ayhan, F.D. and Kahraman, F., 2004; "Selective oil agglomeration in Sırnak asphaltite beneficiation", Fuel, **83**, 2081-2086.

Aktaş, Z., 2002; "Some factors affecting spherical oil agglomeration performance of coal fines", International Journal of Mineral Processing, **65**, 177-190.

Alonso, M.I., Valde´s, A.F., Martı´nez-Tarazona R.M. and 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.

Alonso, M.I., Valde´s, A.F., Martı´nez-Tarazona R.M. and Garcia, A.B., 1999; "Coal recovery from fines cleaning wastes by agglomeration with vegetable oils: effect of oil types and concentration", Fuel, **78**, 753-759.

Valdes, A.F. and Garcia, A.B., 2006; "On the utilization of waste vegetable oils (WVO) as agglomerants to recover coal from coal fines cleaning wastes (CFCW)", Fuel, **85**, 607-614.

Balzarini, J. and Hucko, R.E. 1991; "Recent Developments in Coal Preparation", Eight Annual International Pittsburgh Coal Conference, October, 14-18, 218-223.

Baruah, M.K., Kotoky, P., Baruah, J. and Bora, G.C., 2000; "Cleaning of Indian coals by agglomeration with xylene and hexane", Separation and Purification Technology, **20**, 235-241.

Bogenschnieder, B., Behrenbeck, H. and Kubitzka, B., 1976; "Preparation of fine coal slurries by selective agglomeration", Gluckauf, **23**, 112.

Capes, C.E. 1991; "Part 4: Oil agglomeration process principles and commercial application for fine coal cleaning", In Coal Preparation Book, (ed. Joseph W. Leonard & Byron C. Hardince), 1020-1041.

Capes, C.E., McIlhinney, A.E., McKeever, R.E., and Messer, L., 1976; "Application of spherical agglomeration to coal preparation", Proceedings. International Coal Preparation Congress, Sydney, 7, h2.

- Cebeci, Y., Ulusoy, U. and Şimşek, S. 2002; "Investigation of the effect of agglomeration time, pH and various salts on the cleaning of Zonguldak bituminous coal by oil agglomeration", *Fuel*, **81**, 1131-1137.
- Garcia, A.B., Martinez, T.M.R. Vega, J.M.G and Nava, A., 1996; "Cleaning of Spanish high-rank coals by agglomeration with vegetable oils", *Fuel*, **75(7)**, 885-890.
- Gence, N., 2006; "Coal recovery from bituminous coal by agglototation with petroleum oils", *Fuel Processing Technology*, **85**, 1138-1142.
- Hoşten, Ç. ve Uçbaş, Y. 1989; "Zonguldak Toz Kömürleri Üzerinde Yağ Aglomerasyonu Çalışmaları", Türkiye 11. Madencilik Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 355-366.
- Huettenhain, H., 1991; "Advanced physical fine coal cleaning—spherical agglomeration", Sixteen International Conference on Coal&Slurry Technologies, Clearwater, Florida, April.
- Ignasiak, I., Szymocha, K. , Pawlak, W., and J. Kramer, J. 1994; "Engineering development of selective agglomeration technology, new trends in coal preparation technologies and equipment", Proceedings of the 12th International Coal Preparation Congress, Cracow, Poland, May 23– 27, 515–520.
- Özbayoğlu, G. 1998 "Toz Kömürler İçin Gelişmiş Yıkama Teknikleri", *Oredressing*, **1**, 1-11.
- Uçbaş, Y., Öteyaka, B. ve Özdağ, H. 1998 "Manyezit cevherinin yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesinde pH düzenleyici cinsinin proses verimi, aglomerat boyutu ve oleik asit tüketimi üzerine etkisi, *Oredressing*, **1**, 19-27.
- Uslu, T. Şahinoğlu, E., Alp, İ., Deveci, H. and Savaş, M., 2006; "Agglomeration of Müzret (Yusufeli-Artvin) bituminous coal by kerosene", Türkiye 15. Kömür Kongresi, Zonguldak, 283-290.
- Ünal, İ., Aktaş, Z. ve Olcay, A., 2000; "Bitümlü kömür ve linyitin yağ aglomerasyonu", Türkiye 12. Kömür Kongresi, Zonguldak, Ereğli, 251-260.
- Pawlak, W., K. and Szymocha, K., 1999; "POC-scale testing of oil agglomeration techniques", U.S. DOE Report, ARC, Edmonton, July 1999.
- Pawlak, W., Szymocha, K. and Ignasiak, L., 1998; "Agflotherm process for efficient simultaneous upgrading of low rank coals and heavy oils at atmospheric pressure in inert gas", *Coal Preparation*, **20**, 191– 205.
- Szymocha, K. 2003; "Industrial applications of the agglomeration process", *Powder Technology*, **130**, 462-467.
- Yamık, A., Tosun, Y.İ. ve Güneş, N., 1994; "Kömürden Külün ve Kükürdün Arındırılması", Türkiye 9. Kömür Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Zonguldak Şubesi, 201-210.
- Yoon, R.H., 1991; "Part 2: Advanced Coal Cleaning", in *Coal Preparation Book*, (ed. Joseph W.Leonard&Byron C. Hardince), 966-1005.