

KÖMÜRLERDEKİ KÜKÜRDÜN KADEMELİ OLARAK UZAKLAŞTIRILMASI

DESULPHURIZATION OF COAL BY USING SEQUENTIAL PROCESSES

Ramazan ASMATÜLÜ ve Bedri İPEKOĞLU

I. Ü. Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü, 34850 Avcılar/İstanbul

ÖZ: Dünyadaki nüfus artışı ile birlikte endüstrileşme ve ekonomik gelişmeler temiz ve kaliteli enerji talebini de gündeme getirmiştir. Bu talebi karşılamada kömür, dünyada ve Türkiye'de çok önemli bir enerji kaynağı olup, önümüzdeki 50 yıl içerisinde de bu özelliğini koruyacak türden bir yakıttır. Ülkemiz özellikle 8.6 milyar ton rezervli linyit kömürleri ile enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir enerji kaynağına sahiptir. Bu rezervin yaklaşık %96'sı %1'den ve %14'ü ise %3'den fazla toplam kültür içerir. Söz konusu bu kömürlerin yakılması ile kömürde bulunan yanabilir kültürün (organik ve piritik kültür) çok büyük bir bölümü SO₂ emisyonu şeklinde atmosfere karışmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır.

Bu çalışmada, birbirini takip eden üç farklı yöntem ile yüksek kültür içerikli kömürlerden kültürün kademe- li olarak uzaklaştırılması incelenmiştir. Bu yöntemleri "Kömürün İnce Boyutlarda Yıkınması, Düşük Sıcaklık Koklaştırması ve Elde Edilen Semikokun Briketlenmesi" oluşturmaktadır. Ayrıca, çalışmaların son bölümünde ekonomik değerlendirmeler de yapılarak, ithal kömürle bu yöntemlerle elde edilen ürünün bir karşılaştırması yer almaktadır.

ABSTRACT: Due to the increase in the world population, clean and quality energy demand has been put on the agenda for industrialisation and economy. In order to meet this demand coal, an important power source both in the world and in Turkey, will maintain its importance for the next 50 years. Turkey with an 8.6 billion tons lignite reserve has an important power source to meet energy requirement. About 96% of this reserve has more than 1% total sulphur and 14% of it more than 3% total sulphur. By burning coal in question, a big part of combustible sulphur (organic and pyretic sulphur) in coal escapes to the atmosphere in the form of SO₂ emission and causes environmental pollution.

In this study, desulphurization of coal has been examined by applying three different methods successfully. These methods consist of Fine Coal Cleaning, Low Temperature Carbonisation and Briquetting of Semicoke. Finally, an economic analyse has been carried out comparing imported coal.

1. GİRİŞ

Fosil kökenli bir yakıt olan kömür, değişik türdeki bitki ve bitki artıklarının belirli şartlar altında fiziksel ve kimyasal değişimleri sonucu meydana gelmiştir. Kömürleşme sürecine bağlı olarak bitkilerde bulunan C, H, O, S ve N ile birlikte, dışarıdan gelen ve bitkilerin içerisine giren çeşitli bileşiklerin bozularak ayrışması sonucu değişik türlerdeki kömürler oluşmuştur. Bu nedenle, kömürler farklı oranlarda organik ve inorganik elementler içeren heterojen yapıdaki bir yakıttır. Bu yapıyı oluşturan elementlerin birisini ve çevre açısından en önemlisini de kültür oluşturmaktadır.

Son yıllarda çevresel olayların büyük önem kazandığı ülkemizde temiz yakıt üretimi artık kaçınılmaz olmuştur. Bu düşünce doğrultusunda özellikle büyük şehirlerimizde kullanılan kömürlerin niteliklerine sınırlamalar getirilmiş ve belirlenen sınırların dışında kalan

kömürler bu illere sokulmamıştır. Çevre Bakanlığı tarafından hava kirliliğinin birinci derecede önemli olduğu illerde (İstanbul, Ankara, Bursa, Erzurum gibi) 1995-1996 yılları için kullanılacak kömürlerin kültür içeriği % 1.2 olarak belirlenmiştir. Ülkemizde mevcut potansiyeli 8.6 milyar ton olan linyit kömürlerinin yaklaşık % 90'ından fazlasının kültür içeriği bu oranın üzerindedir. Dolayısıyla pek çok belediye ve kömür kuruluşları Türk linyitlerini iyileştirmek yerine, ithal yollarla kömür getirterek halka sunmaktadırlar. Ayrıca, yine ithal yollarla fuel oil ve doğal gaz da getirtilerek ısınma problemleri giderilmeye çalışılmaktadır. Bunun sonucu, dışarıya büyük miktarlarda para ödenerek milli ekonomiye zararlar verilmektedir (Kasapoğlu 1996; Kural, 1991).

Bu çalışmada, "Kömürün İnce Boyutlarda Yıkınması, Düşük Sıcaklık Koklaştırması ve Elde Edilen Semikokun Briketlenmesi" gibi kültürün kömürden uzak-

laştırılabilme metodları yer almaktadır. Ayrıca, çalışmalara ekonomik değerlendirmelerde eklenmiştir.

2. KÜKÜRDÜN KÖMÜRDE BULUNUŞ ŞEKİLLERİ

Kükürt, kömürün çeşitli kullanım alanlarında pek çok sorunlar yarattığından rutubet ve kül gibi bir empüritedir. Kükürt metalurjide kullanılan kokun kalitesini düşürmekte, kazanlarda korozyonu hızlandırmakta ve %2'den fazla bulunduğu zaman fırınlarda klinker oluşumunu hızlandırmaktadır. Buna ilaveten, kömür yandığı zaman oluşan SO₂, SO₃ ve H₂S gazları atmosfere karışarak hava kirliliğine neden olmakta ve asit yağmurları şeklinde doğaya zarar vermektedir. Kirliliği oluşturan kükürt kömürde organik ve inorganik türlerde olmak üzere iki şekilde bulunur (Kural, 1991; Doğan ve diğ., 1991).

2.1. Organik Kükürt

Kömürdeki organik kükürt genellikle % 0.5-2 arasında olup toplam kükürtün %97'sine kadar çıkabilmektedir. Yanabilir bir kükürt olan organik kükürt, kömürün hidro karbon zincirinde yer alarak onun bir parçasını teşkil eder. Bu tür kükürtün kaynağı, kömürü oluşturan bitkilerin yaşaması için topraktan almış olduğu besin maddelerinden kaynaklanmaktadır. Kömürde bulunan organik kükürt dört değişik türde sınıflandırılmaktadır (Kural, 1991; Doğan ve diğ., 1991):

- Alifatik veya Aromatik Tiyoller (merkaptanlar, tiyofenler): R-SH, Ar-SH
- Alifatik, Aromatik veya Karışık Sülfürler (tiyofenler): R-S-R, Ar-S-Ar, R-S-Ar
- Alifatik, Aromatik veya Karışık disülfürler (bistiyofenler): R-S-S-R, Ar-S-S-Ar, R-S-S-Ar
- Tiyofen tipindeki hidrosiklik bileşikler (dibenzotiyofen).

Kükürtü bağlayan kimyasal bağlar koparılmadıkça, bu türdeki kükürtler kömürden atılamaz. Bu bağları koparmak için genellikle ısı işlem ve hidrojenasyon yöntemleri kullanılır. Bu nedenle, fiziksel zenginleştirme yöntemleriyle kömürde bulunan organik kükürtün azaltılması mümkün değildir.

2.2. İnorganik Kükürt

İnorganik kükürt kömürde piritik, sülfat ve elementer kükürt olmak üzere üç değişik türde bulunmaktadır.

2.2.1. Piritik Kükürt

Genellikle piritik kükürt kömürde pirit ve markasit olarak iki mineral halinde bulunur. Bu minerallerden her ikisinde aynı kimyasal yapıya (FeS₂) sahipken, birbirlerinden yalnızca kristal şekilleri bakımından ayrılırlar. Piritin kristal yapısı kübik, markasitin ise ortorombiktir.

Kömürdeki piritlerin boyutları gözle görülebilir boyutlardan, birkaç mikrona kadar değişebilir. İri boyutlu piritler kömürde damarlar, merccekler, yumrular ve kürecikler ile piritleşmiş bitki dokusu olmak üzere dört şekilde bulunabilir. İnce boyutlu mikroskobik piritler ise kürecikler, damarcıklar ve toz haldeki kristaller şeklinde bulunabilir. Piritik kükürt yanabilir özelliğe sahiptir (Doğan ve diğ., 1991):

2.2.2. Sülfat Kükürdü

Kömürde sülfat kükürdü kalsiyum, magnezyum, demir ve bakır sülfat tuzları şeklinde ve kristaller halinde bulunur. Kömürün içerdiği sülfat kükürdünün miktarı oldukça azdır, fakat kömür hava ile reaksiyona girdikçe kömür yüzeysel bozunmaya uğrayarak bu oranlar artabilir. Sülfat kükürdü yanma özelliğine sahip olmadığından, kömürün bu kükürtden arındırılması için herhangi bir işlem pek yapılmaz (Kural, 1991).

2.2.3. Elementer Kükürt

Elementer kükürt kömürde çok nadir olarak bulunabilir. Yapılan araştırmalarda bazı kömürlerin %0.15 dolaylarında bu tür kükürtü içerdiği tesbit edilmiştir. Diğer kükürt türlerine göre oranının çok az olması nedeniyle zenginleştirme işlemlerinde pek dikkate alınmaz.

3. KÜKÜRDÜN KADEMELİ OLARAK UZAKLAŞTIRILMASI

Ülkemiz kömürlerinin en önemli safsızlıklardan birini oluşturan kükürdün giderilmesinde aşağıda verilen üç farklı yöntem uygun görülmektedir.

3.1. Kömürün İnce Boyutlarda Yıkanması

İnce boyutlarda serbest hale gelebilen piritik kükürt yoğunluk farkı ve flotasyon yöntemleri ile kolaylıkla ayrılabilir. Çalışmaların başında, öncelikle kömürde bulunan piritik kükürt ve bu kükürtün serbestleşme boyutu belirlenir. Uygun boyut gruplarına (-20 + 10 mm, -10 + 6mm, -6 + 3.36 mm, -3.36 + 1 mm, -1 + 0.5 mm ve -0.5 mm) ayrılan numune aşağıda verilen metodlarla yıkanır (Kural, 1991). Gerekirse numunenin tamamının boyutu -3.36 mm, -1 mm, -0.5 mm gibi boyutlara da ayrılarak piritik kükürt ve kül serbestleştirilmesi belirli oranlarda sağlanmış olur (Doğan ve diğ., 1991; Camm, 1991).

Jig ile Zenginleştirme: Nispeten iri boyutlardaki (-20 + 3.36 mm) kömürler jiglerle, özellikle de Batac ve feldispatlı jiglerle kolaylıkla yıkanabilir. Batac jigleri genellikle bir kaç kompartımandan meydana gelir her kompartımanda en az iki hücre bulunur. Günümüzde en çok kullanılan bu jiglerin kapasitesi 1000 ton/s'e kadar çıkabilir. Feldispatlı jigler ise daha ince boyutlarda yıkanma yapar. Bu jiglerin eleğinin üzerinde yapay bir yatak

oluşturulur. Bu şekilde ayırma tabakası kalınlaşır ve ayırmanın daha kolay yapılması sağlanır. Elek üzerine feldispatın kullanılma amacı; bu mineralin kömüre göre daha yüksek özgül ağırlığa sahip olması ve aşınmaya karşı da daha fazla direnç göstermesidir. İri boyutlarda serbest hale gelen pirit ve diğer inorganik maddeler jig ile yüksek randımanlarda uzaklaştırılır.

Sarsıntılı Masa ile Zenginleştirme: Bu yöntem özellikle ince kömürlerin yıkanmasında sıkça kullanılmaktadır. Üst boyutu 10 mm'ye kadar çıkabilen kömürün yıkandığı bu yöntemde daha ziyade -3.36+0.5 mm boyut grubundaki kömürler daha etkin bir şekilde yıkanarak, piritik kükürt uzaklaştırılır. Kömür yıkama masaları tek, iki veya üç katlı olarak dizayn edilir.

Spiral ile Zenginleştirme: -3+0.1 mm boyut grubu kömürün yıkanmasında kullanılan spiraller özel olarak poliüretandan imal edilmiştir. Kömürlerin yıkanmasında çoğunlukla bu malzemeden yapılan Reichert spirali kullanılır. Bu ayırıcıda, kömür ve piritik kükürt akışkan sulu bir ortamda büyük oranda santrifüj kuvvetinde etkisiyle birbirlerinden ayrılır. Bu spiraller 6-16 adetlik bataryalar halinde çalıştırılır. Spiral kullanılarak yapılan çalışmalarda toplam kükürtün %60'a yakını kömürden uzaklaştırılabilmektedir (Camm, 1991).

Ağır Ortam Ayırıcıları ile Zenginleştirme: Son yıllarda ince boyutlu kömürlerin yıkanmasında en çok kullanılan yöntemlerden birinide ağır ortam ayırıcıları oluşturmaktadır. Bu tür ayırıcılarda gravite ve hidrodinamik kuvvetlerin yanında, merkezkaç kuvvetide ayırmada büyük bir etken olmaktadır (Doğan ve diğ., 1991). Günümüzde, ince boyutlu kömürlerin yıkanmasında kullanılan aygıtlar Ağır Ortam Siklonları, Daynawhirlpool ayırıcısı, Tri-flo ayırıcısı, Vorsly ayırıcıları gibi ayırıcılardır. Bu aygıtlarda üst boyut 30-40 mm'ye kadar çıkabilmekte ve alt boyut ise 0.5 mm hatta 0.1 mm'ye kadar inebilmektedir. Kömür ve piritik kükürt arasında büyük bir yoğunluk farkı olduğundan olaylıkla birbirinden ayrılır (Camm, 1991).

Flotasyon ile Zenginleştirme: Kömürün flotasyon yeteneği kömürleşme derecesine bağlı olarak değişir. Bitümlü kömürlerde maksimum olan flotasyon yeteneği antrasite veya linyite doğru gidildikçe azalır. Ayrıca, kömürün kül miktarı arttıkça ıslanabilme özelliği artar ve yüzebilme özelliği düşer. Kömürün yüzebilme kabiliyetini düşüren diğer bir etken ise yüzey oksidasyonlarıdır. Flotasyon işlemlerinde -1 mm boyutundaki kömürler genellikle nötr hidrokarbonlar ve fuel oil kullanılarak, doğal pH'ta kolaylıkla yüzdürülür (Kural, 1991). Köpürtücü olarak, metil izobitül karbinol (MIBC) veya izooktonal gibi kısa zincirli alkoller kullanılır. Bazı durumlarda, ters flotasyonla kömür bastırılarak piritik kükürt ksantatlarla yüzdürülür (Doğan ve diğ., 1991; Camm, 1991).

MGS (Multy Gravity Seperator) ile Zenginleştirme: Bu aygıt 1980'li yılların sonunda Richert Mozly firması tarafından ince ve çok ince boyutlu (-0.5 mm) mi-

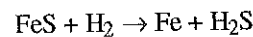
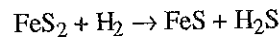
nerallerin ayrılması amacı ile geliştirilmiştir. MGS, sarsıntılı masa düzeneğinin bir tambur şekline dönüştürülmesi biçiminde dizayn edilmiştir. Söz konusu tamburun belirli bir hızda döndürülmesi ile mineral tanelerine büyük bir merkezkaç kuvveti uygulanmakta ve tanelerin tambur yüzeyinde yarı katı bir tabaka oluşmasına neden olmaktadır. Tambur içerisindeki küreyiciler vasıtası ile mineraller birbirinden ayrılır. Bu sayede, 1 mikrona kadar olan çok ince boyutlu piritik kükürt ile kül yapıcı diğer mineraller tamburun üst kısmından, temiz kömür ise tamburun alt kısmından alınır. Deneysel çalışmalarda tambur dönüş hızı, pülpte katı oranı, tambur eğim açısı, besleme hızı, besleme suyu miktarı, genlik ve tambur titreşim frekansı incelenerek en iyi ayırma koşulları tesbit edilir. Günümüzde bu tür uygulamalar pilot çapta yoğun bir şekilde sürdürülmektedir (Yıldırım, 1995).

Kömürün ince boyutlarda yıkanması ile serbest haldeki piritik kükürtün yanı sıra kömürdeki serbest külünde tamamına yakını uzaklaştırılabilmektedir. Bu sayede, düşük kül içerikli temiz kömür ısı işlemlere tabi tutulmuş olur (Kural, 1991; Camm, 1991).

3.2. Isıl İşlemlerle Kükürdün Giderilmesi

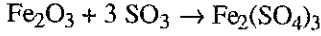
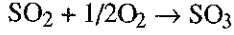
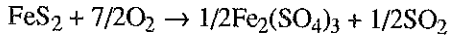
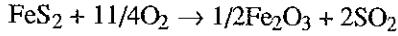
Bu bölümde, fiziksel yöntemlerle uzaklaştırılmayan çok ince boyutlardaki piritik kükürt ile organik kükürtün uzaklaştırılması ele alınmıştır. Linyitlerin ısı işlemlerle iyileştirilmesinde genellikle düşük sıcaklık koklaştırması uygulanır. Kömürde organik ve inorganik şekilde bulunan kükürdün giderilmesi amacı ile yapılan ısıtma işlemlerinde inert gaz olarak karbondioksit veya azot; indirgeyici gaz olarak su buharı, amonyak veya hidrojen; kükürtü oksitleyici gaz olarakta çok az oranlarda oksijen veya hava kullanılmaktadır.

Kömürün yapısında kalan organik ve piritik kükürtü uzaklaştırmak için inert ve indirgeyici gaz ortamında kömür ısıtılır. Yapılan ısıtma işlemleri sonucunda kömürdeki organik kükürtün karbon-kükürt bağı kopararak, organik kükürt H₂S'e dönüşür. Organik kükürtün giderilmesinde sıcaklık 800 °C'ye kadar çıkabilir. Kömürdeki çok ince boyutlu (-20 mikron) piritik kükürt ise 550-650 °C sıcaklıklarda hızlı bir şekilde parçalanmaya uğrayarak FeS ve diğer kükürt bileşiklerine dönüşür. FeS ikinci kez tekrar reaksiyona girerek demir oksiti oluşturur. Eğer ortamda hidrojen varsa oluşan kükürt çoğunlukla H₂S'e, oksijen varsa SO₂'ye dönüşerek kömürü terk eder. Ortamda hidrojen varsa reaksiyonlar aşağıdaki şekillerde oluşur (Kural, 1991; Doğan ve diğ., 1991).

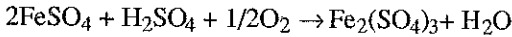
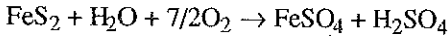


Yukarıdaki tepkimeler 300°C'de çok yavaş olarak başlar; ısının 500°C'nin üzerine çıktığı durumlarda tepkime hızlanır ve 800°C'nin üzerinde ise reaksiyonlar son bulur. Isıl işlemler sırasında kullanılan havanın miktarı-

na göre piritin oksidasyonu ise şu şekilde olmaktadır (Kural, 1991).



Aynı işlemler sulu ortamlarda yapıldığında ise suda kolaylıkla çözünebilen demir sülfatlar meydana gelir:



Isıl işlemler sonucu açığa çıkan SO_2 , kömüre kireç ilave edilerek veya alkali bir ortamdan geçirilerek kolaylıkla tutulabilir.

Yapılan çalışmalarda ince boyutlu kömürlerin küürdünün giderilmesinde akışkan yataklı karbonizasyon yöntemlerinin daha uygun olacağı tesbit edilmiştir. Bu yöntemde, ince boyutlu tanelerden oluşan bir yatak içerisinde belirli bir hızla sıcak hava ve gaz geçirilir. Meydana gelen basınç etkisi ile kömür taneleri hareket etmeye başlar. Kömürle direkt temas halinde olan gaz, kükürtün kısa sürelerde gaz fazına geçmesini sağlar. Bu fırınlarda sıcaklık $500-900^\circ\text{C}$ 'ler arasında değişmektedir (Kural, 1991).

Isıl işlemler sırasında açığa çıkan uçucu kısım bir soğutma sisteminden geçirilerek sıvı ve gaz şeklinde ürünler alınır. Bu işlemler endüstride daha kompleks bir şekilde yapılmaktadır. Isıtma sırasında dışarıdan verilen gazlarla seyrelmiş durumda olan uçucu kısım fırınlardan çıktıktan sonra sırası ile ilk soğutucu, katran tutucu, son soğutucu ve benzerle yıkayıcı ünitelerden geçirilir. Uçucu maddeye uygulanan bu temizleme işlemleri sonucu çoğunluğu yanabilen temiz bir gaz ile katran elde edilir. Gazın yaklaşık $2/3$ 'ü tekrar fırınların ısıtılmasında kullanılabilir, geri kalanı ise piyasaya verilir (Önal, 1995).

3.3. Semikokun Briketlenmesi

Isıl işlemler sonucu kömürde bulunan yanabilir kükürt orta dereceli sıcaklıklarda ($550-650^\circ\text{C}$) tamamen uzaklaştırılmaz. Ancak ısının 750°C 'nin üzerine çıkarılması halinde bu olay gerçekleşebilir. Isının yüksek tutulması teknik ve ekonomik açıdan pek istenmeyen bir durumdur. Isının yüksek tutulması ile elde edilen semikokun uçucu madde oranları $\%10$ 'un altına düşer. Düşük uçucu madde içeren semikokların tutuşma sıcaklıkları ise yükselerek evlerde ve diğer alanlarda kullanılması zorlaşır (Kural, 1991; Institute for..., 1996; Asmatülü, 1995a). Bunun yanında, yanma sonucu kirlilik yaratmayan gazlarda kömürü terk ederek ekonomik kayıplara neden olur. Yapılan çalışmalarda linyit kömürleri için semikokta $\%10-20$ arasında uçucu madde bulunmasının

iyi olacağı belirlenmiştir. Isıl işlem sonucu elde edilen semikokun bu uçucu oranlarında, havayı kirleten ve kanserojen etki yapan katranın da kömürden ayrılmış olduğu yapılan araştırmalar ile belirlenmiştir (Asmatülü, 1996b; Asmatülü, 1996c).

Isıl işlemler sonucu elde edilen katı ürün çoğunlukla ufanmış ve mukavemetini kaybetmiştir. Bu ürün bu haliyle direkt olarak evlerde pek kullanılamaz. Ancak, ince boyutlarda kömür kullanan endüstri kollarında kullanılabilir. Örneğin; çimento sanayi, tuğla, kireç yakma fırınları, gazlaştırma reaktörleri, ark fırınları (ferrokrom, ferrosilisyum, karpit üretimi v.s) ve termik santrallerde kolaylıkla kullanılabilir. Evlerde kullanılması düşünüldüğünde bu ürünün briketlenmesi gerekir.

Semikokun briketlenmesinde kömürün boyutu $1-2$ mm altına indirilir. Daha iri boyutlarda yapılan briketin mukavemeti yeterli düzeylerde olamayacağı anlaşılmıştır. Briketleme deneylerinde melas, sülfid likörü, ataktik polipropilen, katran, residue veya kireç kullanılabilir. Bunlara ilaveten, tutuşma sıcaklığını düşürmek ve briketin mukavemetini artırmak için çeltik sapı ve saman da briketlemede kullanılabilir. Yapılan araştırmalar sonucu melas, katran ve kirecin birlikte kullanılması ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Asmatülü, 1995a; Asmatülü, 1996a). Kireç, yıkama ve ısıl işlemler sonucu tamamen uzaklaştırılmayan yanabilir kükürtü CaSO_4 şeklinde tutarak; kömürdeki yanabilir kükürt içeriği $\%0$ 'lara kadar indirilebilmektedir. Kireç, kükürtü tuttuğu gibi, yüksek oranlarda melas ve katran kullanılarak elde edilen ve basınç dayanımı olmayan briketlerin plastik özelliğini de ortadan kaldırır (Asmatülü, 1996a; Asmatülü, 1996c).

Briketleme deneylerinde tane boyutu, bağlayıcı madde miktarı ve presleme yükünün briketlemeye olan etkileri belirlenir ve en iyi koşullar tesbit edilir. Deneylerde tane boyutu olarak -3 mm, -2 mm ve -1 mm; presleme yükü olarak 10 ton, 20 ton, 30 ton, 40 ton ve 50 ton; bağlayıcı madde (melas) olarak $\%6$, $\%8$, $\%10$, $\%12$, $\%14$ ve $\%16$ alınabilir. Ayrıca, en iyi koşullarda bağlayıcı maddeye $\%2$, $\%4$, $\%6$, $\%8$ ve $\%10$ oranlarında katran ilave edilerek briketin mukavemeti ve suya karşı dayanımı artırılır (Asmatülü, 1996a).

Polonya'da yapılan bir çalışmada, semikok'un plastik özelliğe sahip bitümlü kömürlerle karıştırılarak katkısız olarak briketlenebileceği belirlenmiştir. Bu yöntemde, $300-450^\circ\text{C}$ sıcaklıklarda plastik özellik kazanmış kömüre semikok ilave edilerek sıcak briketleme gerçekleştirilmiştir. Sıcak briketleme ile sağlam ve üniform briketler elde edilmiştir. Kömürde ve semikokta bulunan yanabilir kükürtü tutmak amacı ile de briketleme öncesi kireç ilave edilmiştir (Institute for..., 1996).

4. EKONOMİK DEĞERLENDİRME

Kömürden düşük kül, kükürt ve rutubet içeren, ısı değeri yüksek yakıt elde etme çalışmaları uzun sürelerden beri yürütülmektedir. Kömürden kükürt, rutubet ve

katran uzaklaştırılmasında genellikle ısı işlemler ve fiziksel yöntemler; külün uzaklaştırılmasında ise çoğunlukla fiziksel yöntemler uygulanmaktadır. Bu çalışmaların hepsi maliyeti artırıcı yönde olmaktadır. Isıl işlemler sonucu katı, sıvı ve gaz ürünler elde edilir ve bu ürünler ayrı ayrı değerlendirildiği takdirde proses daha ekonomik olur (Önal, 1995).

Yapılan bir araştırmada, 1000 ton/saat kapasite ile kurulacak bir tesisin ekonomik olarak çalıştırılabileceği vurgulanmaktadır. Ekonomik değerlendirmede yatırım tutarı, amortisman giderleri, işletme giderleri ve kredi faiz giderleri ele alınmıştır. Yatırım tutarında kömür yıkama tesisi, termik kurutucu, şoklu kırıcı, koklaştırma reaktörü, briketleme ve gaz temizleme birimleri bulunmakta olup bunların değeri yaklaşık 65.500.000 \$ tutacağı tahmin edilmiştir.

Amortisman giderleri hesabında tesis ömrü 10 yıl, günlük çalışma süresi 20 saat ve yıllık çalışma süresinde 330 gün olarak belirlenmiştir. Bu tesise beslenecek tuvenan kömür miktarı 6.600.000 ton/yıl olup, bu kömürden 1.914.000 ton/yıl semikok, 452.000 ton/yıl gaz ve 363.000 ton/yıl da katran üretilebilecektir. Söz konusu tesiste bir ton semikokun üretilmesinden dolayı meydana gelen amortisman gideri tüm ürünlerin değerlendirilmesi ile 3.42\$ olacağı tesbit edilmiştir (Önal, 1995).

İşletme maliyetleri hesabında işçilik, hammadde, bakım-onarım, yardımcı madde ve işletme malzemesi gideri göz önünde bulundurulmuş; enerji gereksinimi prosesten karşılanacağından bu giderler hesaba katılmamıştır. Bir ton briket elde etmek için kömürün üretim maliyeti, yıkama, kurutma, boyut küçültme, yarıkoklaştırma, briketleme ve amortisman maliyetlerinin toplamı 46.98\$ bulunmuş; yıllık işletme giderleri ise yaklaşık 38.854.200\$ olacağı tahmin edilmiştir.

Yatırım tutarı ve işletme giderlerine Dolar bazında %10 faiz uygulandığında, bir ton briketin toplam maliyeti 50.91 \$'a çıkmıştır.

Kömürden üretilen briket, katran ve şehir gazının yıllık getirisi 152.332.265 \$ bulunmuş; giderlere ise briketlemeye kadar olan maliyetler ile gaz temizleme maliyetleri eklendiğinde 98.031.435 \$ toplam gider bulunmuştur. Karlılık durumuna bakıldığında yıllık net gelirin 54.300.830 \$; net fayda yatırım oranının ise %83 olacağı tesbit edilmiştir. Bu sonuçlardan kurulacak bir tesisin kendini kısa sürede amorte edebileceği gözükmektedir (Yıldırım, 1995).

Bir ton briketin satış fiyatı 70 \$ olarak belirlenmiştir. Benzer özellikteki ithal kömürün maliyeti ise 90-150 \$'dır. Bu sonuçlara bakıldığında kömür ithal etmektense, Türk kömürlerini iyileştirerek kullanmak her yönüyle daha avantajlı olacaktır (Kasapoğlu, 1996).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzde, linyit kömürlerimiz üzerinde daha ekonomik ve çevreye daha az zarar verebilecek türden çalış-

maların yapılması artık kaçınılmaz olmuştur. Bilindiği gibi, linyit rezervlerimizin çok büyük bir kısmı nem, kül ve kükürt bakımından istenilen düzeylerde değildir. Bu nedenle vakit geçirilmeden bu tür çalışmalara pilot çapta ve endüstriyel boyutlarda biran önce geçilmesinde, ülkemiz enerji ihtiyacının yerli kaynaklardan karşılanması bakımından büyük yararlar vardır.

Genellikle düşük kaliteli linyit kömürlerinin iyileştirilmesinde başta kömür yıkama, ısı işlemlerle iyileştirme ve briketleme gibi yöntemler gelmektedir. Özellikle kömürün ince boyutlarda yıkanması ile kömürde bulunan piritik kükürt ve kül yapıcı inorganik maddeler uzaklaştırılır. Isıl işlemlerle kömürde bulunan rutubet, katranımsı sıvı ürünler ve piritik kükürt ile birlikte organik kükürt büyük oranlarda kömürü terkeder. Briketleme yöntemi ile de hem ince boyutlardaki kömür iri boyutlara çıkartılmış, hemde kireç ilavesi ile kömürde kalan yanabilir kükürt tutulmuş olur. Bu yöntemlerin kademeli olarak yapılması ile daha etkili sonuçlar elde edilir. Bilindiği gibi 1995 yılında, ısınma ve sanayi amaçlı olarak ithal edilen kömür, metalurjik kok ve doğal gaz 1.386 milyar \$, ham petrole ise 2.919 milyar \$ para ödenmiştir. Türk kömürlerinden elde edilen ürün, ısıtma amacı ile ithal edilen doğal gaz, fuel oil ve kömürün yerini alması ile büyük ekonomik kazançlar sağlanabilir (Kasapoğlu, 1996).

Düşük kaliteli kömürlerin iyileştirme çalışmaları ABD, İngiltere, Almanya, Avustralya, Güney Afrika gibi fazla miktarlarda kömür rezervlerine sahip ülkelere büyük bir özveri ile sürdürülmekte ve iyi neticeler alınmaktadır (Gentile, 1995; Strakey, 1995; Sondral, 1995). Bu tür teknolojilerin bir an önce ülkemize getirilip endüstriyel boyutlarda uygulanmasında çok büyük faydalar olacaktır. Ayrıca, bu türden çalışmalar bazı üniversitelerimizde de yapılmaktadır. (Asmatülü, 1995a; Selçuk, 1996; Özbayoğlu, 1996).

KAYNAKLAR

- Asmatülü R., (1996 a) "İnce Boyutlu Semikokların Briketlendikten Sonra Ev Yakıtı Olarak Kullanılması", Madencilik Dergisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın Organı Mart Sayısı
- Asmatülü R., Acarkan N., Önal G., (1996 b) "Linyit Kömürlerinin Isıl İşlemlerle iyileştirilmesi", Türkiye 10. Kömür Kongresi, Zonguldak
- Asmatülü R., Acarkan N., Önal G., Çelik M.S., (1995 a) "Upgrading of Low-Rank Coals By Low Temperature Carbonization", Technologies for Mineral Processing of Refractory Raw Materials and for Environment Protection in Areas with Extractive Industry-Scientific Symposium with International Participation, Baia Mare-Romania
- Asmatülü R., İpekoğlu B., Kural O., Acarkan N., (1995 b) "Briquetting of Semi-Coke", 6th Balkan

- Conference on Mineral Processing, Ohrid Republic of Macedonia
- Asmatülü R., Kural O., İpekoğlu B., (1996 c)** "Briquetting and Its Roll in Preventing Air Pollution in Türkiye", First International Symposium on Mining Environmental Engineering, Kütahya-Turkey
- Camm A., (1991)** "Sulphur in Coal and its Removal", The Mining Engineer, Ekim Sayısı
- Doğan Z., Özbayoğlu G., Küçükbayrak S., (1991)** "Kömürün Kükürdünün Giderilmesi", Kömür (Editör: O. Kural)
- Gentile R. H., (1995)** "Temiz Yakıt Teknolojisinde K-Yakıtı", (Çeviren: A.E. Yüce), Kömür Teknolojisi ve Kullanım Semineri III, (Editörler: G. Önal, G. Ateşok), TKİ OAL Müessesesi Çayırhan Tesisleri
- Institute For Chemical Processing of Coal, (1996)** "ECOAL Smokless Fuel (Binderless char Briquettes)", Investment Preliminary Proposal, Zabrze, Polonya
- Kasapoğlu İ., (1996)** "Enerji Tüketiminde İthalatın Yeri ve Etkileri", Türkiye Enerji Sempozyumu 96, Ankara
- Kural O., (1991)** " Kömür", Kurtiş matbaası,
- Önal G., Mustafayev İ., Yıldırım İ., Çelik M.S., (1995)** "Linyitlerin Isıl İşlemlerle Zenginleştirilmesinin Ekonomik Analizi", Türkiye 14. Madencilik Kongresi, Ankara
- Özbayoğlu G., (1996)** " Desulfurization Of Coals To Protect The Environmental", NATO Advanced Study Institute, Mineral Processing And Environmental, Improving The Quality Of Our Life, Varna-Bulgaria
- Yıldırım İ., Önal G., Mustafayev İ., Çelik M.S., (1995)** "Laboratuvar Pilot Tipi Multi Gravite Cihazı ile Kömür Su Karışımları için Süper Düşük Küllü Kömür Üretimi", Türkiye 14. Madencilik Kongresi, Ankara
- Selçuk N., (1996)** "Akışkan Yatakta Yakma Teknolojisi ve Türk Linyitlerine Adaptasyonu", Türkiye Enerji Sempozyumu 96, Ankara
- Sondreal A.A., Many M.D., Weber G.W., Young B., (1995)** "Temiz Kömür Teknolojilerinin Linyitlere Uygulanması", (Çeviren: A.A. Sirkeci), Kömür Teknolojisi ve Kullanım Semineri III, (Editörler: G. Önal, G. Ateşok), TKİ OAL Müessesesi Çayırhan Tesisleri
- Strakey J.P., Ruether A., Sarkus T.A., (1995)** "Yeni ve Dönüştürülmüş Elektrik Santrallerine Uygulanacak Temiz Kömür Teknolojileri", (Çeviren: İ. Yıldırım) Kömür Teknolojisi ve Kullanım Semineri III, (Editörler: G. Önal, G. Ateşok), TKİ OAL Müessesesi Çayırhan Tesisleri