

KURU KÖMÜR ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN TANITILMASI VE BAZI TÜRK KÖMÜRLERİNİN TEMİZLENMESİ İÇİN FGX CİHAZININ DENENMESİ

Introduction of Dry Coal Beneficiation Methods and Testing of FGX Device for Cleaning Some Turkish Coals

Hasan HACİFAZLIOĞLU (*)

ÖZET

Bu çalışmada, geçmişten günümüze kadar geliştirilmiş olan kuru kömür zenginleştirme yöntemleri tanıtılmış ve son yıllarda Çin'de geliştirilmiş olan FGX cihazı ile bazı Türk kömürlerinin zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. FGX cihazı ile yapılan deneyler sonucunda, Türk kömürlerindeki kül ancak %10 ile 15 aralığında giderilebilmiştir. FGX cihazı ile yüksek kül giderme oranları sağlanamamıştır. Manisa (Soma) kömürüne uygulanan yüzdürme-batırma deneyi sonucunda, Soma kömüründen %6.50 ile %25.52 küllü temiz kömürlerin elde edilebileceği görülmüş ancak FGX cihazı ile optimum koşullarda %30 küllü temiz kömür elde edilmiştir. FGX cihazı ile yüksek kül giderim değerlerinin elde edilememesinin en büyük nedeni başta Taggart kriteri, yani ayırma ortamının (havanın) yoğunluğunun düşük olmasıdır. Ayrıca FGX cihazının bir diğer sakıncası 10mm'den daha ince taneleri hiç ayırmadan direkt temiz kömür ürününe geçirmiş olmasıdır. Sonuç olarak FGX, 10 mm'den daha büyük tanelerin zenginleştirilmesinde verimli olup, yalnızca ön-zenginleştirme amacına yönelik olarak kullanılabilir bir kuru zenginleştirme cihazıdır. Özellikle Termik santrallerin yaygınlaştığı günümüzde, serbest yan taşların bu cihaz ile uzaklaştırılması santralde yakılan kömürün külünde düşümler sağlayacak ve ısı değeri artarken oluşturduğu cüraf ve uçucu kül miktarı azalacaktır.

Anahtar Sözcükler: Kuru Zenginleştirme, Kömür, FGX, Akışkan Yatak, Havalı Jig, Allair, Bradford

ABSTRACT

In this study, dry coal beneficiation methods, which have been developed from past to present, are introduced and beneficiability of some Turkish coals is investigated with FGX device developed in China. As a result of tests conducted by FGX device, ash in Turkish coals could only be removed at an interval of 10% to 15%. High ratios for ash removal could not be ensured by FGX device. As a result of float-and-sink test applied to Manisa (Soma) coal, it was seen that clean coals with an ash of 6.50% to 25.52% could be obtained but clean coal with 30% ash was obtained by FGX device in optimum conditions. The major reason why high ash removal values could not be achieved with FGX device is that first of all, Taggart criterion, in other words the density of separation medium (air), is low. Besides, another disadvantage of FGX device was that it carried particles finer than 10 mm directly into clean coal product without separating. Consequentially, FGX is efficient in beneficiation of particles greater than 10 mm; it is a dry beneficiation device that can only be used for pre-beneficiation purposes. In the present day, when especially power plants have become widespread, removal of free lateral stones with that device would enable reductions in ash of coals burned in power plants and the amount of fly ash and slag, which they form while heating value increases, would decrease.

Keywords: Dry Beneficiation, Coal, FGX, Fluidized Bed, Pneumatic Jig, Allair Jig, Bradford

(*) Araş. Gör. İstanbul Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Avcılar/İSTANBUL hasanh@istanbul.edu.tr

1.GİRİŞ

Son yıllarda kömür madenciliğinin özellikle kurak bölgelerde yaygınlaşmasıyla birlikte su kullanılmadan kömürün temizlenmesine yönelik çalışmalarda artmıştır. Temeli on sekizinci yüzyılın başlarına dayanan bu yöntemde su yerine hava kullanılmakta ve bu ortamda kömür ile yan taş çeşitli cihazlar ve onların değişik çalışma prensipleriyle birbirinden ayrılmaktadır. Geliştirilen cihazlar, kömür ve yan taş arasındaki bazı fiziksel özellik farklılığından faydalanarak ayırma yapmaktadır. Bu farklılıklar; yoğunluk, renk, gevreklik, elektriksel özellik ya da manyetik duyarlılık olabilmektedir. Günümüzde en yaygın kullanılan FGX ve Allair jigi gibi kuru zenginleştirme yöntemleri yoğunluk farkına dayalı zenginleştirme yapan cihazlardır. Optik, elektrostatik ve manyetik yöntemler ise uygulama zorlukları, düşük verimlilikleri ve yüksek işletim maliyetleri nedeni ile çok fazla uygulama alanı bulamamıştır.

Kuru zenginleştirme yönteminin klasik yaş yöntemlere göre birçok avantajı bulunmaktadır. Özellikle termik santrallerde yakılan yüksek nem ve kül oranına sahip linyitler için kuru yöntemle zenginleştirme; üzerinde özellikle durulan bir yöntem olmaya başlamıştır. Bunun nedeni genelde tüvenan haliyle yakılan linyitlerin yüksek kül oranının yarattığı problemlerin (cüruf ve kurum oluşumu, korozyon vb.) azaltılma isteğidir. Yaş yıkama yöntemi ile kül oranındaki düşüşe bağlı enerji içeriğindeki artışın büyük kısmı yüzey nemi artışı ile kaybedilmektedir. Bazı düşük dereceli kömürler suyla muamele edildiğinde ufalanabilmekte, nem ve aşırı ince tanelerden kaynaklanan sorunlara sebep olabilmektedir. Kimyasal maddeler içeren ince taneli çamurun atılması, baraj yapımı ve bakım maliyetleri önemli oranlarda olabilmektedir. Yaş yöntemlerde önemli bir maliyet unsuru olan suyun neden olduğu tesis atık problemleri, kuru yöntemlerde oluşmamakta, büyük hacimli atık barajlarına gereksinim duyulmamakta, ıslanma nedeni ile kömür nemi artmamakta, işlem daha basit olmaktadır. Ayrıca kışın sert geçtiği bölgelerde suyun donması, ya da bazı kurak bölgelerde su sıkıntısının yaşanması da yaş yöntemin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Ayrıca, kuru yöntemlerde daha az tozlaşma veya ufalanma meydana gelmekte ve toz kayıplar minimize olmaktadır [1,2,3]. Kuru zenginleştirme yöntemleri özellikle 1930-1990 yılları arasında yaygın bir şekilde uygulanmış ancak düşük

ayırma yoğunlukları ve düşük ayırma verimlilikleri nedeni ile zamanla popülaritesini yitirmiştir. Ancak son yıllarda küresel ısınma ve iklim değişiklikleri nedeniyle ortaya çıkan su sıkıntısı, kömürlerin kuru olarak zenginleştirilmesini tekrar gündeme getirmiş ve yapılan yeni tasarım ve yaklaşımlar ile kuru kömür zenginleştirme daha önceleri oluşturduğu düşük yoğunluk ve düşük ayırma verimi gibi dezavantajları ortadan kaldırmıştır. Yeni geliştirilen cihazlarda hava ortamına mikronize manyetit (ağır ortam) ilave edilerek ortam yoğunlukları artırılmış ve değişik tasarımlarla cihazların ayırma verimlilikleri yükseltilmiştir [1,4,5].

Bu çalışma kapsamında, geçmişten günümüze kadar geliştirilmiş olan kuru zenginleştirme yöntemleri tanıtılacak ve bu yöntemlerden biri olan karma kuru kömür temizleyicisi FGX cihazı ile bazı Türk kömürlerinin zenginleştirilebilirliği araştırılacaktır.

2. KURU KÖMÜR ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Geçmişten günümüze kadar geliştirilmiş olan kuru kömür zenginleştirme yöntemleri Çizelge 1'de özetlenmiştir. Elle ayıklama yöntemi kuru zenginleştirme teknolojisinin en ilkel yöntemi olup halen pek çok tesiste uygulanmaktadır. Günümüzde en yaygın kullanılan kuru zenginleştirme cihazları yoğunluk farkı esasına dayalı zenginleştirme yapan cihazlardır. Endüstriyel ölçekte; FX, FGX, Akaflo ve Allair jiginin Çin, Amerika, Avustralya gibi ülkelerde pek çok uygulaması mevcuttur.

Genel olarak kuru kömür hazırlama teknolojilerini 5 ana grup altında toplamamız mümkündür. Bunlar uygulama sıklığına göre; yoğunluk farkına dayalı yöntemler, görüntü ve renk farklılığına dayalı yöntemler, boyut, şekil, ufalanma, esneklik ve sürtünme katsayısına dayalı yöntemler, manyetik duyarlılığa dayalı yöntemler ve iletkenliğe dayalı yöntemlerdir.

2.1. Yoğunluk Farkına Göre Ayırma Yapan Yöntemler

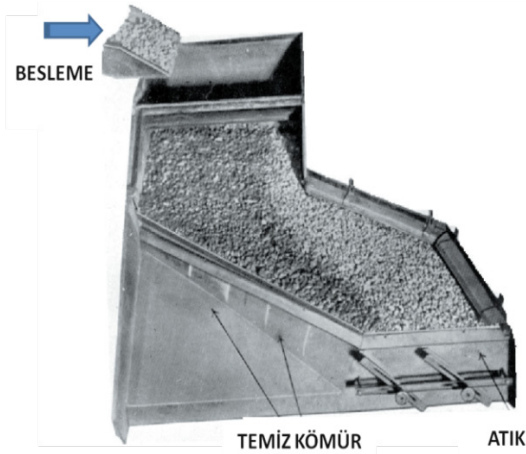
Kuru zenginleştirme yöntemlerinin çoğu bu gruba girmektedir. Ayrıca endüstride en çok kullanılan cihazlarda bu grup içerisinde yer almaktadır. Bunlar; havalı masalar, havalı jigler, karma kuru temizleme cihazları ve kuru ağır ortam (akışkan yataklı) ayırma cihazlarıdır.

Çizelge 1. Kuru Kömür Zenginleştirme Yöntemleri.

Kuru Zenginleştirme Metodu	Alternatif Tipleri	Ayırma Farklılığı	Uygulama Boyutu (mm)	Referans
Elle Ayıklama	Ocakta (yerinde) Bant üstünde Döner tablada	Görünüş Renk Yoğunluk	30-300	[1,3,14]
Optik Ayırma	Rhewum Datasort, Optosort GmbH Sortex-Z	Görünüş, Renk, Radyoaktivite Manyetik rezorans Mikrodalga NMR-hydrogen	1-250	[3] www.rhwum.com www.optosort.com www.buhlergroup.com
Eleme (Elekler)	Derric Elek, Metso Elek Hein Lehmann	Boyut, Şekil, Ufalanma	0.2-300	[1, 3,14] www.metso.com www.heinlehmman.com www.derrickequipment.com
Hızlandırıcı	Accelerator	Ufalanma Esneklik	10-200	www.imperial-technologies.com
Döner Kırıcı	Bradford, McNally	Ufalanma Esneklik	10-2000	[1,2, 3, 7] www.penncrusher.com
Havalı Masa	APS Masası, 3-S Masası, Berry Masası	Yoğunluk	1-10	[1,2, 3,7]
Havalı Jig	Air Flow Jig, All Air Jig,	Yoğunluk	2-50	[1,3,7,8] www.indiamart.com
Spiral Ayırıcı	Pardee spirali	Sürtünme Katsayısı	1-10	[3,6]
Beresford Ayırıcısı	Beresford masası	Esneklik, Sürtünme katsayısı	10-35	[1,2,3, 6]
Karma Kuru Temizleme Cihazları	FMC, FX, FGX, Akaflow	Yoğunluk	100-1	[8,9,10,11] www.fgxseptech.com www.akwauv.com
Kuru Ağır Ortam Ayırması	Akışkan yataklı ayırıcılar.	Yoğunluk	300-0	[4,5,6,13]
Manyetik Separatörler	Yüksek alan şiddetli Düşük alan şiddetli	Manyetik Duyarlılık	1-100	[14,15,16] www.eriez.com www.metso.com
Elektriksel Ayırıcılar	Elektrodinamik Elektrostatik	İletkenlik	2-0	[3, 7, 13] www.outotec.com www.metso.com

2.1.1. Havalı Masalar

Havalı masalarla ilgili ilk patent 1850 yılında alınmıştır. İlk endüstriyel uygulamaları ise 1924 yılında başlamıştır. Şekil ve çalışma prensibi olarak Deister sarsıntılı masalarına benzemektedir ancak masa yüzeyleri delikli olmaktadır. Eğimli yüzeye sahip masaya beslenen tüvenan kömür, elek şeklindeki masa yüzeyinden gelen statik hava ile tabakalandırılmakta, hafif olan ve hava akımı ile hareket kazanan temiz kömür masanın en uç daralan kısmından ayırıcının üst kısmından kazanılmaktadır. Elek yüzeyine temas eden yan taş ise eğimin tersi yönünde taşınarak masadan uzaklaştırılmaktadır. Bu masalardan en bilinen tipleri; APS, 3-S, Saxson Cleaner ve Berry masasıdır. Kapasiteleri 12-60 ton/saat arasında, kömür besleme boyutları ise 2-4 mm'den 5-10 cm'ye kadar değişebilmektedir [1,6]. Şekil 1'de APS masası gösterilmiştir.

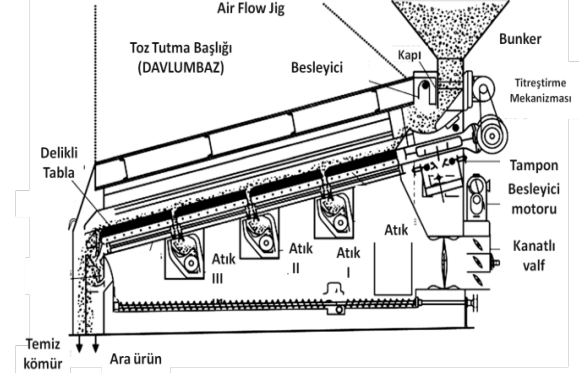


Şekil 1. Havalı masa.

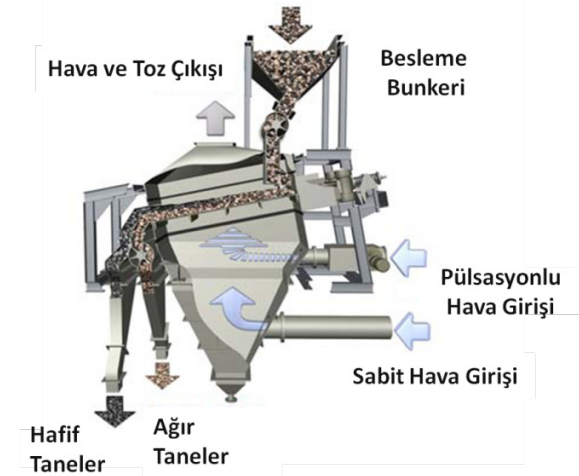
2.1.2. Havalı Jigler

Havalı jiglerin ilki Earl Stump tarafından 1932 yılında geliştirilmiştir. Airflow jig adıyla bilinen bu jig Şekil 2'de gösterildiği gibi; eğimli ve titreşimli bir elek şeklindedir. Alt kısımdan verilen basınçlı hava delikli yüzeye alttan girmekte ve altta yoğunluğu yüksek taş, üstte hafif kömür olmak üzere tabakalaşma meydana getirmektedir. Ağır taneler, tabakadan elek yüzeyi boyunca yerleştirilmiş üç boşaltma ünitesi ile alınmaktadır. Yüzeyin sonunda dördüncü bir boşaltma sistemi ara ürün için yerleştirilmiştir. Çok sayıda taş çıkış düzeneği olması, yatak kalınlığının ve artık içeriğinin az olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de besleme ve çıkış bölgeleri arasında direnç farklılıkları meydana geldiği

için, elek yüzeyi altına seramik toplar konularak havanın kısa devre yapması engellenmeye çalışılmaktadır. Seramik topların oluşturduğu tabakanın kalınlığı besleme tarafından çıkış tarafına doğru artmaktadır [1,7]



Şekil 2. Airflow jig.



Şekil 3. Allair jig.

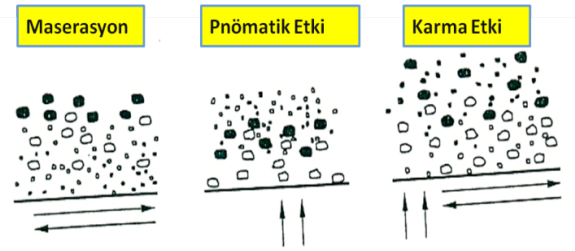
Son yıllarda RWTH Aachen Üniversitesi ve Allmineral tarafından geliştirilen ve özellikle Amerika ve Avrupa'da kullanımı yaygın olan popüler bir havalı jig modeli Allair jigidir. Şekil 3'de görülen Allair jiginde hava; biri sabit diğeri pulsasyonlu olmak üzere iki farklı bölgeden verilmekte ve bu yolla düzenli bir tabakalaşma ile hassas ayırım elde edilebilmektedir. Tabakanın üst kısmından hafif taneler (kömür) alınmakta iken alt kısmından ağır taneler alınmaktadır. Sistemin en önemli avantajı 1-50 mm kömürün sınıflandırılmadan direkt sisteme belenebilmesidir. Her bir metrelik jig tabla genişliği için kapasitesi 50 t/s'e kadar çıkabilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda besleme külüne bağlı olarak %10 ile %20 arasında küllü temiz

kömürlerin elde edilebileceği belirtilmektedir. Artık külü ise uygulamalara bağlı olarak %50 ile %60 arasında değişmektedir. [3,8].

2.1.3. Karma Kuru Kömür Temizleme Cihazları

Bu gruba giren cihazlar FMC, FX, FGX ve Akaflo ticari isimleri ile bilinmektedir. Çin'de geliştirilmiş olan bu cihazlar Türkiye'de dahil olmak üzere dünyanın çeşitli ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel havalı jiglere beslenen malzeme boyutu 50 mm ile sınırlı iken karma kuru kömür temizleme cihazlarına 100 mm'ye kadar tüvenan kömür beslemesi yapılabilmektedir. Bu cihazların endüstriyel ölçekte saatte 500 tona kadar kömür temizleme yapabilen uygulamaları mevcuttur [9].

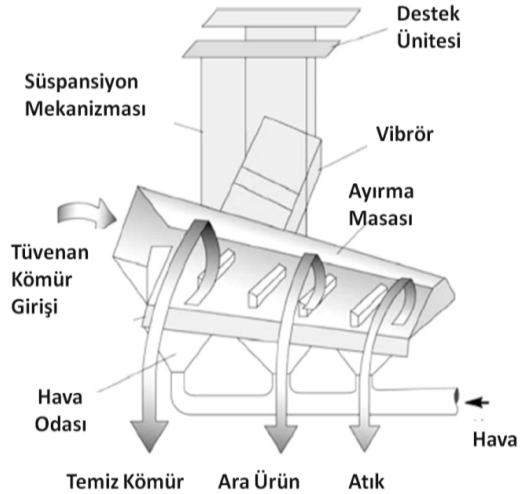
Karma kuru temizleme cihazlarında tüvenan kömür kırılırken meydana gelen toz kömür taneciklerinin havayla birlikte oluşturdukları iki fazlı hava-katı karışımı otojen bir ağır ortam etkisi yaratmaktadır. Buna ek olarak mekanik bir vibrasyon yardımıyla oluşturulan separasyon kuvveti de malzemenin helisel dönme hareketini sağlamaktadır. Böylece, malzeme bu ağır ortamda yüzer hale gelmekte ve tedricen azalan yoğunluk farkına göre dizilerek tabakalanmaktadır [10,11]. FGX cihazında karma etkilerle oluşturulan tabakalaşma Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. FGX cihazında tabakalaşma

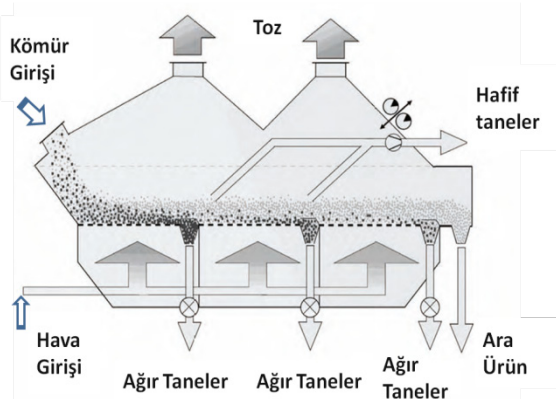
Şekil 5'de basit yapısı verilen FGX cihazının ana parçaları; süspansiyon mekanizması, destek ünitesi, kömür besleme girişi, ayırma masası, vibrör, hava odası, hava besleme girişi, temiz kömür, ara ürün ve atık çıkış yollarıdır. Basınçlı hava, masanın altından verilmekte ve delikli masa yüzeyinden geçerek kömürleri yoğunluk farkına göre tabakalandırmaktadır. Havanın yanı sıra karma etki oluşturulabilmesi için, ayırma masası bir vibromotor ile titreştirilmektedir. Bu cihaza beslenen malzeme içerisinde %10-20 oranında toz malzemenin bulunması gerekmektedir. Aksi halde otojen ağır ortam

etkisi meydana gelmeyeceği için etkili bir ayırma gerçekleştirilmeyecektir. FMC ve FX cihazları da bazı küçük farklılıklarıyla birlikte FGX cihazına benzer prensiple çalışan cihazlardır.



Şekil 5. FGX karma kuru temizleyicisi

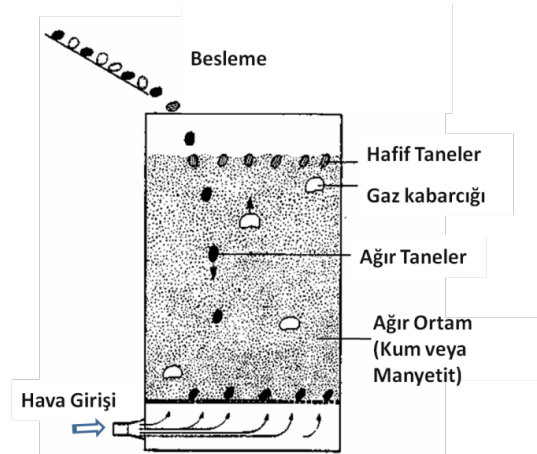
Akaflo tasarım olarak FGX cihazından farklıdır. Ancak, FGX cihazında olduğu gibi vibrasyon ve otojen ortam etkisinden faydalanan karma bir kuru temizleme cihazıdır. Akaflo cihazı, 3 mm'den daha küçük boyutlu ince tanelerin zenginleştirilmesi için geliştirilmiştir. Bu cihaz, taneler arasındaki yoğunluk farkının 0.3 g/cm³'den daha az olması durumunda bile etkili bir ayırma gerçekleştirebilmektedir. Özellikle ince taneli feldispat ve kuvars ayırma endüstriyel ölçekte uygulamaları mevcuttur. Sahil kumlarından demir, titan gibi ağır minerallerin giderilmesi için kullanılabilir. Kapasiteleri 120 cm masa genişliği için saatte 5 ile 25 ton arasında değişmektedir (Şekil 6).



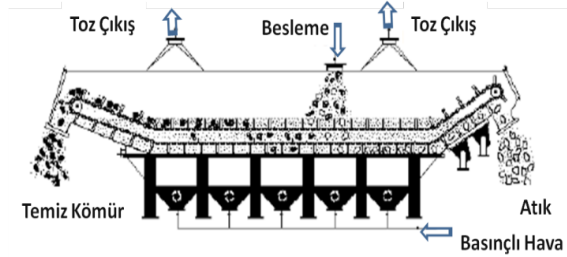
Şekil 6. Akaflo cihazı

2.1.4. Kuru Ağır Ortam Cihazları

Bu tip cihazlarda, basınçlı havanın yanında ayırma ortamının yoğunluğunun artırılması için kum, manyetit ve hematit gibi ağır ortam oluşturmaya mikronize (-38 µm) boyutlu malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler ayırma odası içerisinde akışkan bir yatak (ortam) oluşturduğu için bu cihazlara “akışkan yataklı” kuru temizleme cihazları da denilmektedir. Mikronize öğütülmüş ağır ortam malzemeleri Şekil 7’de görüldüğü gibi havanın etkisi ile ayırma odasında askıda tutulmakta ve yoğunluğu 1.3 g/cm³ ile 2 g/cm³ arasında değişen bir ağır ortam oluşmaktadır. Bu ortam sayesinde yoğunluğu daha büyük olan tanelerde etkili bir şekilde ayrılabilir. Bu cihazın genellikle 50 mm’nin altındaki boyutlarda etkili olduğu belirtilmektedir. Sistemin en önemli dezavantajı kum ve manyetitin geri kazanılma zorluğudur [5, 12,13]. Pilot ölçekli bir akışkan yataklı ayırıcı Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Akışkan yataklı tanelerin ayrımı

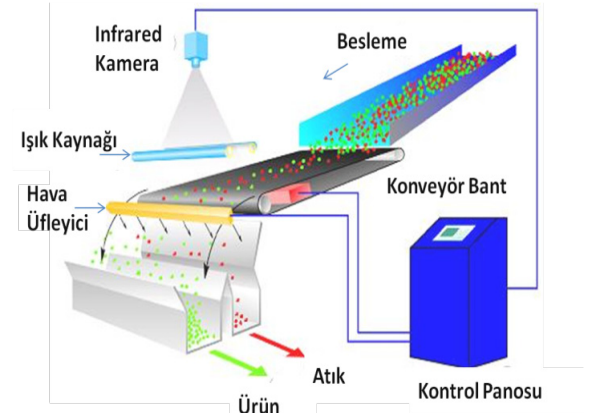


Şekil 8. Akışkan yataklı ayırıcı

2.2. Görüntü ve Renk Farklılığına Göre Ayırma/Ayıklama

Bu yöntemleri “elle ayıklama” ve “optik ayırma” olmak üzere 2 bölümde incelemek mümkündür.

Elle ayıklama yöntemi bilinen en eski kuru zenginleştirme yöntemi olup, yavaş hareket eden bir bant üzerinde yeterince serbestleşmiş olan kömür ve yan taşın insan seçiciliği ve gücü ile bant üzerinden, yada ocak yerinden alınması ve ayrılması esasına dayanır. Optik ayırma ise; x-ışını, optik tanımlama, elektromanyetik tanımlama gibi yöntemlerle oluşturulmuş otomatik ayıklama yapan bir cihazdır [1]. Bazı mineraller uzun ve kısa dalgalı ultraviyole ışınları altında ışınırlar. Bu özelliklerinden yararlanılarak serbestleşmiş mineral taneleri ultraviyole ışın kaynakları altından geçirildiğinde otomatik optik ayırıcılarla ayıklanarak zenginleştirilebilirler. Şekil 9’da bir optik ayırıcının çalışma prensibi gösterilmiştir.



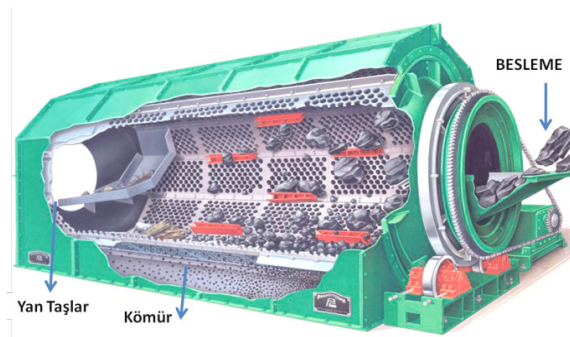
Şekil 9. Optik ayırıcı

Endüstriyel ölçekte uygulamaları çok yaygın olmayan optik ayırıcılardan en bilinen ticari tipleri Optosort ve Rheum Datasort ayırıcılarıdır. Optosort cihazında ayırma işlemi, gerek ayrılacak malzemenin spektral özelliklerine gerekse optik olmayan özelliklerine dayanarak sağlanmaktadır. Ayırmada önemli olan, ayrılması istenen malzemenin artık malzemeden farklı özellikte olmasıdır. Malzemelerin spektral özelliklerinden yola çıkılarak aydınlatmadaki değişiklikler ve multi-sensorik teşhis sistemleri ile taneleri birbirinden ayırmaktadır. Optosort, 300 ile 0.5 mm arasındaki dar besleme tane boyutlarında etkili ayırma yapabilmektedir. Kapasiteleri saatte 150 tona kadar çıkabilmektedir. Rheum Datasort cihazı ise; malzemeyi renkli veya siyah-beyaz olması özelliğine göre teşhis etmekte olup, renkli malzemede tek taraflı algılama, desenli malzemelerde çift taraflı algılama yapmaktadır. Parlaklık ve yansımaya göre, siyah-beyaz

malzeme: volfram, kömür, kurşun-çinko cevheri, talk, magnezyum, kireçtaşı, feldspat, jips, çoklu renklere göre: feldspat, fındık, cam gibi taneleri birbirinden ayırabilmektedir.

2.3. Boyut, Şekil, Ufalanma, Esneklik ve Sürtünme Katsayısına Dayalı Yöntemler

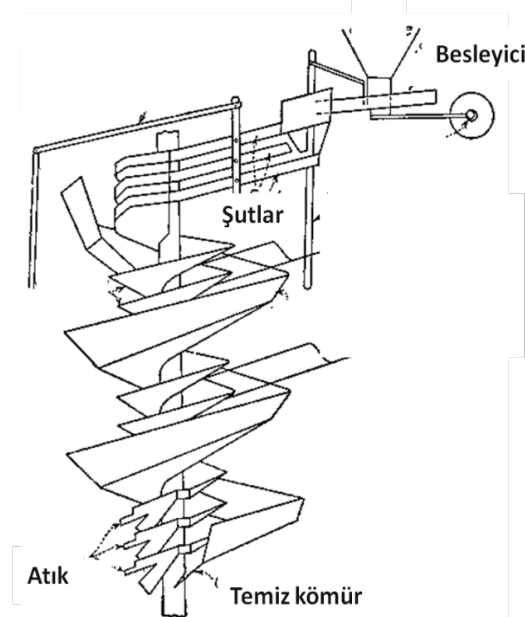
Kömür ve yan taşı oluşturan maddeler çeşitli sertlikteki minerallerden oluşurlar. Değişik sertlikteki madde karışımları kırıldığı zaman, yumuşak maddeler daha çok, sert maddeler daha az ufalanırlar. Diğer taraftan, kömür yan taşta göre daha gevrek bir yapıda olduğu için, dışarıdan gelen bir etki ile daha fazla ufalanır. Sonuçta ince tanelerde yumuşak madde zenginleşmesi iri tanelerde ise sert madde zenginleşmesi gözlenir. Burada karışım halindeki iri ve ince tanelerin bir elekten elenmesi sonucu bir zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmiş olur. Kuru kömür zenginleştirmede yaygın olarak kullanılan Bradford kırıcısının içerisinde raflı bir elek yer almaktadır. Eleğin dönmesi ile taneler en yüksek noktaya kadar çıkmakta ve buradan aşağıya düşmektedir. Bu esnada kömür, yan taşta göre daha fazla ufalanmakta ve eleğin gözlerinden geçerek kırıcının altına inmektedir. Ufalanamayan yan taş ise kırıcının çıkış ağzından alınarak ayırım gerçekleştirilir. Günümüzde bu tip silindir elekli kırıcılar çoğu kömür hazırlama tesislerinde ön zenginleştirme amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 10. Bradford kırıcısı ile zenginleştirme

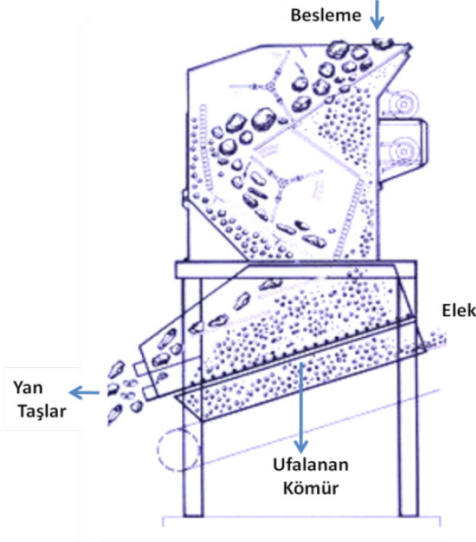
Beresford ayırıcısında ise, belirli boyuta kırılmış tüvenan kömür pürüzsüz eğimli cam masa üzerine beslenir. Masa üzerinde kömür yan taşta göre daha hızlı hareket eder ve masanın en uzak noktasından alınarak ayırım gerçekleştirilir. Burada faydalanan özellik kömürün yan taşta göre daha yüksek esnekliğe ve daha

düşük sürtünme katsayısına sahip olmasıdır [3,6]. Sürtünme katsayısının devreye girdiği bir diğer kömür-yan taş ayırıcısı olan Pardee spirali Şekil 11'de gösterilmiştir. Bu sistemde, tüvenan kömür hızla şutlanarak spirale üstten beslenmekte; yerçekimi, merkezkaç ve sürtünme kuvvetlerinin etkisi ile kömür-yan taş ayırımı gerçekleştirilmektedir. Kömür, daha düşük yoğunluğu ($\sim 1.2 \text{ g/cm}^3$) ve daha az sürtünme katsayısı ile yan taşta göre daha hızlı hareket ettiği için daha yüksek bir ivmeye ya da daha büyük merkezkaç kuvvetine maruz kalır. Bu durumda kömür spiralin eşiklerini aşarak dış kısımdan alınırken, yan taş ise yüksek yoğunluğu ($\sim 2.5 \text{ g/cm}^3$) nedeni ile daha az ivmelenir ve spiralin şaftı boyunca merkezden hareket ederek ayırım gerçekleştirilir [6].



Şekil 11. Pardee spirali ile zenginleştirme

Kömür ve yan taşın farklı kırılma hızlarından faydalanarak geliştirilmiş olan bir diğer kuru ayırıcı tipi ivmelendirici (accelerator)'dir. Şekil 12'de verilen cihazda tüvenan kömür yüksek bir noktadan şutlanmakta, aşağıya doğru inerken çeşitli mekanik (plaka vs.) donanımlarla ivmelendirilmektedir. Bu esnada, kömür cihazda yer alan çarpma plakalarına çarparak ufalanmaktadır. Yan taş ise daha sağlam olduğu için daha az kırılmaktadır. Son aşamada ufalanan kömür taneleri cihazın altındaki bir elekten elenmekte, kırılmayan sağlam yan taş ise eleğin üstünden alınarak ayırım gerçekleştirilmektedir.



Şekil 12. İvmelendirici ile zenginleştirme

2.4. Manyetik Duyarlılığa Göre Ayırma Yapan Yöntemler

Manyetik ayırmada yararlanılan özellik minerallerin farklı manyetik duyarlılıklarıdır. Kömürün içerisinde, pirit (FeS_2) gibi bünyesinde demir bulunan çeşitli inorganik safsızlıklar bulunmaktadır. Bu tür demirli safsızlıkların yüksek alan şiddetli bir manyetik ayırıcıdan geçirilmesi durumunda ayrılması mümkündür. Kömürün inorganik kısmı, pirit mineralinin saflığına bağlı olarak zayıf paramanyetik veya diyamanyetik; organik kısmı ise tamamen diyamanyetik özellik gösterir. Bu özellikler manyetik ayırmada yeterli olmayıp, genellikle pirit taneciklerinin manyetik hassasiyetlerinin artırılması gerekir. İlk yapılan çalışmalarda, piritin manyetik hassasiyeti, aşırı ısıtılmış buhar ile karıştırılarak sağlanmıştır. Bu yolla, pirit oksitlenmekte ve daha güçlü manyetik özelliği olan pirotin (FeS) gibi demir oksit bileşiklerine dönüşmektedir. Daha sonraki çalışmalarda ise, mikrodalga enerjisinden faydalanarak seçimli ısıtma ile pirit taneciklerinin manyetik özellikleri artırılmıştır. Bu yolla, manyetik duyarlılıkları yükseltilebilir piritler daha sonraki aşamada 10000 Gauss ve üstü yüksek alan şiddetli RE (rare-earth) tipi veya elektromıknatıslı manyetik ayırıcılarla ayrılabilir [14,15].

Endüstriyel ölçekte manyetik ayırıcılarla kükürt giderme işlemi kömürün %50'den fazla pirit ve mineral madde içermesi durumunda ekonomik olmaktadır. Bu yüzden manyetik ayırıcılar kömür

zenginleştirme işlemlerinde kullanılmamakta ve yapılan çalışmalar genellikle deneysel ölçekte kalmaktadır. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar ile çeşitli tipteki kömürlerden piritik kükürt %70-90 aralığında giderilebilmektedir [14].

RE tipi Permroll manyetik ayırıcısında Tunçbilek kömüründen kül gideriminin yapıldığı bir çalışmada [16], külü oluşturan marnın %20.31 oranında Fe_2O_3 içerdiği ve manyetik duyarlılığa sahip olduğu belirtilmiştir. Sonuçta, %37.12 kül içeren Tunçbilek kömüründen %28.35 küllü ürünler elde edilmiştir. Diğer taraftan kükürt giderme başarısının %40.33 olduğu belirtilmiş ve kükürt %2.61'den %2.25'e düşürülmüştür.

Endüstriyel kömür zenginleştirme işlemlerinde her ne kadar kuru manyetik ayırıcılar kullanılsa da, ağır ortam esaslı sulu kömür yıkama tesisinde yaş manyetik ayırıcılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Buradaki amaç; ağır ortamı oluşturan toz manyetinin ince kömür taneleri arasından geri kazanılmasıdır. Kömür-pirit ayırımında kullanılabilecek RE tipi kuru manyetik tambur Şekil 13'de gösterilmiştir.

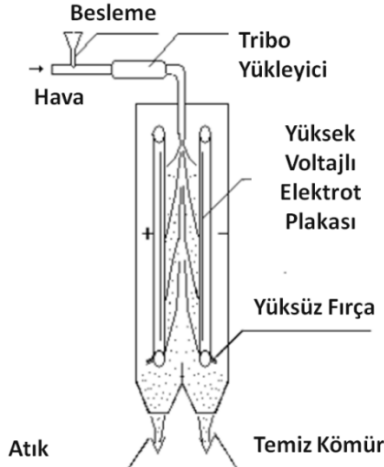


Şekil 13. RE tipi yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı.

2.5. İletkenlik Özelliğine Göre Ayırma Yapan Yöntemler

Bu yöntemde kömür ve yan taşın birbirinden ayrılmasında kömür ve yan taşın elektrik iletkenliğinin birbirinden farklı olması özelliğinden faydalanılır. Bu tip ayırıcılar; elektrodinamik ve elektrostatik ayırıcılar olmak üzere başlıca iki gruba altında toplanabilir. Elektrodinamik ayırıcılar -2 mm kömürler için uygun iken, elektrostatik ayırma -0.25 mm boyutlu kömür

için uygun olmaktadır. Bu cihazlara besleme yapılmadan önce kömürün dar tane aralığında sınıflandırılması, şlamdan arındırılması ve havada kuru hale getirilmesi gerekmektedir [1]. Uygulama zorlukları ve maliyetleri nedeniyle elektrostatik ve elektrodinamik ayırıcıların endüstriyel uygulaması bulunmamaktadır.



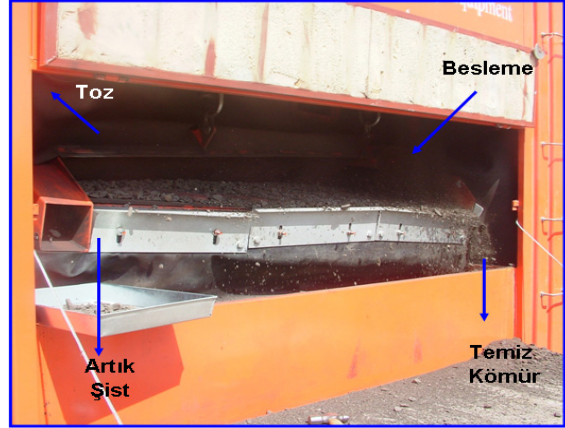
Şekil 14. Triboelektrik ayırıcı

Elektrostatik ayırmada, ayırma kademesinden önce, tanecikler elektrostatik olarak mutlaka yüklenmelidir. Özellikle son yıllarda geliştirilmiş olan triboelektrostatik (Şekil 14) yöntemde tanelerin yüklenmesi, öğütülmüş kömürün bir boru içerisinde basınçlı hava ile taşınırken oluşturduğu türbülans sonucunda, birbirlerine çarpması veya sürtmesi ile elde edilir. Bu yolla, kömür pozitif yük kazanırken, pirit ile kül oluşturan diğer mineraller ise negatif yüklenirler. Daha sonra bu taneler elektrostatik ayırıcı ile birbirinden ayrılır [3,13].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

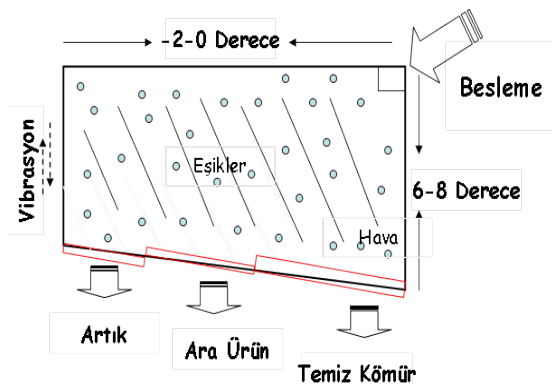
3.1. Kuru Kömür Temizleme Cihazı FGX

Deneyisel çalışmalarda kapasitesi 10 t/saat ve toplam gücü 25.64 kW olan Tangshan Shenzhou firmasının FGX adlı karma kuru kömür temizleme cihazı kullanılmıştır. Bu cihazda ayırma masasının toplam ayırma alanı 1 m²'dir. Cihaz 4.1 metre boyunda ve 6.2 metre genişliğinde olup, toplam ağırlığı 3164 kg'dır (Şekil 15).



Şekil 15. FGX kuru kömür temizleme cihazı.

Şekil 16'da verilen cihazın ayırma masasında 7 adet eşik bulunmakta ve bu eşikler arasındaki mesafe 15cm uzunluğundadır. Eşikler birbirine paralel olarak yerleştirilmiştir. Ön panelde yer alan taşma eşikleri ise test edilen kömürler için temiz kömür kısmında 2 cm, ara ürün kısmında 1 cm, artık kısmında ise yoktur. Sisteme hava; maksimum kapasitesi saatte 30.000 m³ olan, 18.5 kW'lık bir motora sahip, 70 cm çapındaki bir fan ile masa altındaki 3 ayrı borudan verilmektedir. Her bir boru masa üzerinde temiz kömür, ara ürün ve artık bölmelerinin hava ihtiyacını karşılamaktadır. Temiz kömür kısmında bulunan borunun %80'i açık, ara üründe %50'si, artık kısmında ise borunun %30'u açık olarak ayarlanmıştır. Diğer taraftan, ayırma masası genliğinin (amplitüt) ayarı için 0.7 kW'lık 2 adet vibromotor kullanılmıştır. Masa genliği kömür tipine bağlı olarak 2 ile 4 mm arasında değiştirilmiştir. Masanın boyuna eğimi -2 ile 0 derece arasında, enine eğimi ise 8 ile 6 derece arasında uygun ayırma koşullarına bağlı olarak ayarlanmıştır.



Şekil 16. FGX'de ayırmanın yapıldığı masanın görüntüsü.

3.2. Tüvenan Kömür Örnekleri

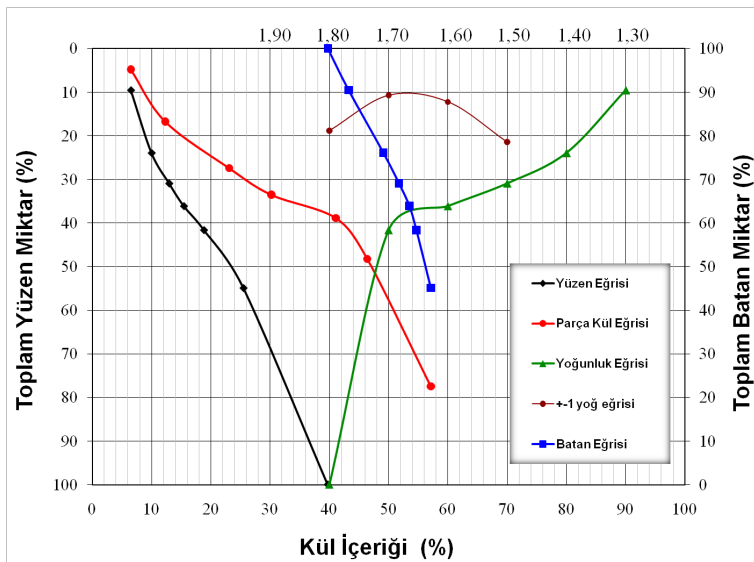
FGX ile zenginleştirme deneylerinde Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden getirilen tüvenan kömür örnekleri kullanılmıştır. Bu kömürler çeşitli nem ve kül içeriklerine sahip; Manisa-Soma, Muğla-Eskihisar, Kütahya-Emirler, Bolu-Mengen, Adıyaman-Gölbaşı ve Kastamonu-Azdavay yöresine ait tüvenan kömür örnekleridir. FGX cihazına tüvenan kömürler beslenmeden önce bir çeneli kırıcı ile 50 mm'nin altına kırılmış ve hiçbir ön işleme tabi tutulmadan tozu ile birlikte cihaza beslenmiştir. Cihazdan, temiz kömür, ara ürün, artık ve toz ürün (siklon filtre tozu) olmak üzere 4 ürün alınmıştır. Elde edilen ürünler kuru bazda kül ve ısı değer yönünden analiz edilerek sonuçlar yorumlanmıştır. Kül giderme oranları aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$\text{Kül Giderme (\%)} = 100 - (Y_c \cdot A_c / A_f)$$

Burada, Y_c temiz kömür miktarı, A_c ve A_f sırasıyla temiz kömür ve beslenen kömürün kül içeriklerini ifade etmektedir. Kuru zenginleştirme yönteminin, klasik yaş zenginleştirme yöntemiyle karşılaştırılabilmesi için örnek olarak seçilen Manisa (Soma) kömürüne bir dizi yüzdürme-batırma testleri yapılmıştır. -50+0.5mm fraksiyonun yüzdürme batırma sonuçları Çizelge 2'de, yüzdürme batırma eğrisi ise Şekil 16'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre, Manisa (Soma) kömürünün 1.30 gr/cm³ yoğunlukta yıkanması durumunda %6.50 küllü bir ürünün %9.50'lik ağırlıkça kazanım değeri ile alınabileceği, 1.50 yoğunlukta yıkanması durumunda ise %15.45 küllü bir ürünün %36.10'luk ağırlıkça kazanım değeri ile elde edilebileceği görülmektedir.

Çizelge 2. Manisa (Soma) Kömür Örneğinin Yüzdürme-Batırma Sonuçları.

Yoğunluk Aralığı (gr/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	Miktar (%)	Kül (%)	M*K (%)	Miktar (%)	M*K (%)	Kül (%)	Miktar (%)	M*K (%)	Kül (%)
-1.30	9.50	6.50	61.75	9.50	61.75	6.50	100.00	3975.99	39.76
+1.30-1.40	14.40	12.30	177.12	23.90	238.87	9.99	90.50	3914.24	43.25
+1.40 -1.50	7.00	23.10	161.70	30.90	400.57	12.96	76.10	3737.12	49.11
+ 1.50 -1.60	5.20	30.20	157.04	36.10	557.61	15.45	69.10	3575.42	51.74
+1.60-1.70	5.50	41.10	226.05	41.60	783.66	18.84	63.90	3418.38	53.50
+1.70-1.80	13.30	46.40	617.12	54.90	1400.78	25.52	58.40	3192.33	54.66
+1.80	45.10	57.10	2575.21	100.00	3975.99	39.76	45.10	2575.21	57.10
TOPLAM	100.00	39.76							



Şekil 17. Manisa (Soma) kömür örneğinin yüzdürme-batırma eğrileri.

Çizelge 3. Farklı Kömürlerin FGX'de Temizlenmesi Durumunda Elde Edilen Ürünler ve Özellikleri.

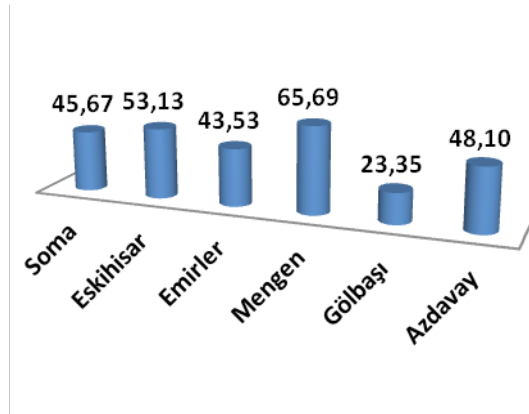
Kömür Örneği	Ürünler	Nem (%)	Kül (%)	Miktar (%)	Alt Isıl Değer (kcal/kg)
MANİSA (SOMA) KÖMÜRÜ (0-50 mm)	Temiz Kömür	12.00	30.00	62.00	3010.00
	Ara Ürün	10.00	54.00	10.00	-
	Atık	7.00	73.00	21.00	-
	Toz	8.00	35.00	1.00	-
	Tüvenan	11.00	39.68	100.00	2480.00
MUĞLA (ESKİHİSAR) KÖMÜRÜ (0-50 mm)	Temiz Kömür	35.00	24.00	70.00	2000.00
	Ara Ürün	27.00	50.00	8.00	-
	Atık	18.00	69.00	20.00	-
	Toz	18.00	62.00	2.00	-
	Tüvenan	32.00	35.84	100.00	680.00
KÜTAHYA (EMİRLER) KÖMÜRÜ (0-50 mm)	Temiz Kömür	22.00	34.00	71.00	2700.00
	Ara Ürün	18.00	55.00	9.00	-
	Atık	14.00	69.00	18.00	-
	Toz	11.00	62.00	2.00	-
	Tüvenan	20.00	42.75	100.00	1900.00
BOLU (MENGEN) KÖMÜRÜ (0-50 mm)	Temiz Kömür	9.00	12.00	68.00	5800.00
	Ara Ürün	6.00	35.00	12.00	-
	Atık	3.00	59.00	18.00	-
	Toz	3.00	40.00	2.00	-
	Tüvenan	8.00	23.78	100.00	4400.00
ADIYAMAN (GÖLBAŞI) KÖMÜRÜ (0-50 mm)	Temiz Kömür	40.00	27.00	85.00	1400.00
	Ara Ürün	35.00	32.00	5.00	-
	Atık	25.00	54.00	9.00	-
	Toz	25.00	53.00	1.00	-
	Tüvenan	38.00	29.94	100.00	1300.00
KASTAMONU (AZDAVAY) KÖMÜRÜ (0-50 mm)	Temiz Kömür	18.00	31.00	70.00	3300.00
	Ara Ürün	15.00	55.00	14.00	-
	Atık	14.00	79.00	15.00	-
	Toz	13.00	56.00	1.00	-
	Tüvenan	15.00	41.81	100.00	2300.00

4. BULGULAR

FGX cihazına beslenen değişik tipteki Türk kömürlerinden elde edilen; temiz kömür, ara ürün, artık ve toz ürünlere ait özellikler Çizelge 3'de verilmektedir. Şekil 18'de ise FGX cihazının farklı kömürlerdeki kül giderme oranları gösterilmiştir. Şekil 19'da FGX ayırma masasının görüntüsü, Şekil 20'de ise soma kömürünün

temiz ve artık kısmının görüntüleri verilmiştir. Çizelge 2'ye göre en düşük küllü temiz kömür Bolu-Mengen kömüründen elde edilmiştir. Bu durumun muhtemel nedeni, Mengen tüvenan kömürünün yan taşı ile kömürü arasındaki yüksek yoğunluk farkı ve tanelerin yeterince serbest halde olmasıdır. Ayrıca Mengen kömüründe yan taş olarak düşük oranda kil, yüksek oranda konglomera türü yüksek yoğunluklu tanelere

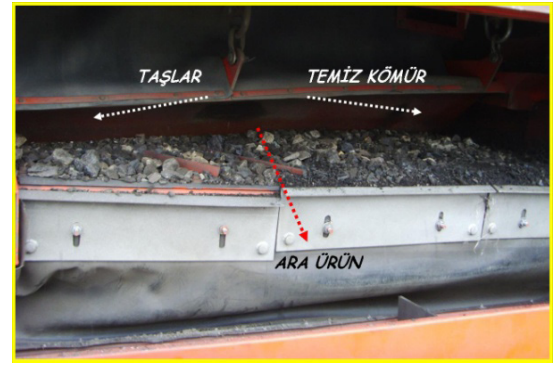
rastlanmıştır. FGX cihazı, %23.78 kül içerikli Mengen kömüründen %12 küllü ev yakıtı (*kükürt içeriğinin %2'nin altında olması koşulu ile*) kalitesinde (>4500 kcal/kg ısıl değer) bir temiz kömür üretmiştir. Tüvenan kömürün alt ısıl değeri 4400 kcal/kg'dan 5800 kcal/kg seviyesine yükselmiştir. Diğer taraftan, Muğla-Eskihisar tüvenan kömürünün külü %35.84'den %24'e; Manisa-Soma kömürünün külü %39.68'den %30'a; Kastamonu-Azdavay kömürünün külü %41.81'den %31'e; Kütahya-Emirler kömürünün külü %42.75'den %34'e ve Adıyaman-Gölbaşı kömürünün külü %29.94'den %27 düşmüştür. En düşük kül giderme başarısı ise Şekil 18'den de görülebileceği gibi Adıyaman-Gölbaşı kömürünün zenginleştirilmesi durumunda elde edilmiştir. Bu durumun muhtemel nedeni, kömür ve yan taş arasındaki göreceli yoğunluk farkının diğer kömür örneklerine göre daha düşük olması, yani Adıyaman-Gölbaşı linyitinin yıkanabilirlik özelliğinin düşük olmasından kaynaklanmıştır.



Şekil 18. FGX ile değişik Türk kömürlerinden kül giderme oranlarının karşılaştırılması.

Çizelge 3'deki bulgulardan ürünlerin nem içeriklerine bakıldığı zaman, elde edilen temiz kömürlerin nem içeriğinin beslenen tüvenan kömürün nem içeriğine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin; FGX cihazına beslenen Azdavay tüvenan kömürünün nem içeriği %15 iken elde edilen temiz kömürün nem içeriği %18 bulunmuştur. Benzer şekilde; Eskihisar kömürünün nemi %32'den %35'e; Emirler kömürünün nemi %20'den %22'ye ve Gölbaşı kömürünün nemi %38'den %40'a yükselmiştir. Bunun nedeni, FGX cihazında, yüzey alanı büyük olan dolayısıyla daha fazla nem tutan ince boyutlu tanelerin verimli bir şekilde ayrılamamasıdır. Başka bir deyişle, FGX'in

çalışma koşulları gereği yüksek nem içeren ince boyutlu tanelerin hemen hemen tamamının her hangi bir ayrışmaya uğramadan direkt temiz kömür ürününe geçmiş olmasıdır. Öyle ki; taşların bulunduğu artık kısmında neredeyse hiç ince boyutlu (<10mm) malzeme yoktur. Taşların bulunduğu artık kısmına yapılan elek analizi sonucunda, artığın %98'inin 10mm'den daha büyük tanelerden oluştuğu saptanmıştır. Bu bulgu, FGX cihazının kısmen boyuta göre ayırma yaptığının bir göstergesidir. Bu durum Şekil 19 ve Şekil 20'de verilen ürün görüntülerinden de açıkça görülmektedir. Cihazda 10mm'nin altındaki boyutlarda zenginleştirmenin olmaması (direkt temiz kömüre geçmesi), kül gideriminde önemli bir dezavantaj oluşturmuş ve bu yüzden yüksek kül giderme oranları elde edilememiştir.



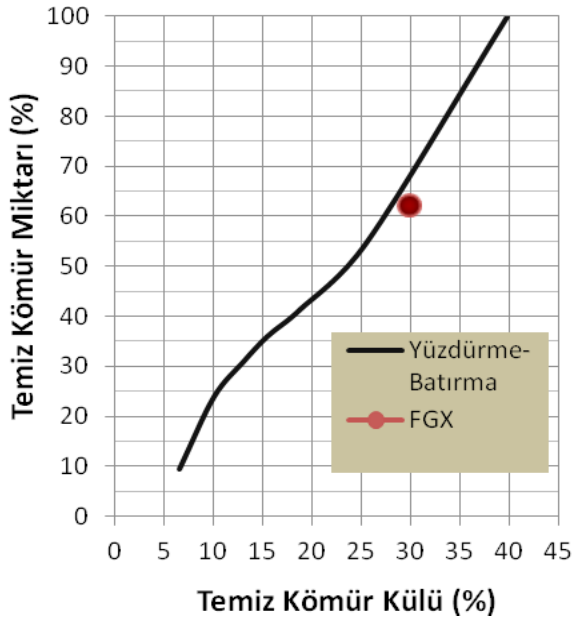
Şekil 19. FGX masası üzerinde boyuta göre ayrışmanın bir görüntüsü (soma kömürü).



Şekil 20. FGX'den elde edilen artık ve temiz kömürün görüntüsü (soma kömürü).

Manisa (soma) kömürünün 1.3 ile 1.8 gr/cm³ aralığındaki yüzdürme-batırma sonuçlarına göre; %39.76 kül içerikli tüvenan kömürden

%6.50 ile %25.52 küllü kömürlerin ağırlıkça %9.50 ile %54.90'lık verimlerle kazanılabileceği açıkça görülmektedir. Oysa FGX'den elde edilen sonuçlara göre; beslenen tüvenan kömürün %62'si %30 küllü olarak elde edilebilmiştir. FGX cihazından elde edilen sonucun, yüzdürme-batırma sonuçları (yüzen eğrisi) ile karşılaştırması Şekil 21'de verilmiştir. Şekil 21'e göre, FGX cihazı, ağırlıkça kazanım yönünden yüzdürme-batırma sonucu ile hemen hemen aynı verimi sağlamıştır. Ancak kül giderim verimi açısından değerlendirildiğinde yüzdürme-batırma test sonuçları %6.5 küle kadar düşebilmekte iken FGX cihazında ince ayırımı yapılamaması nedeni ile kül içeriği %30'un altına düşürülemediği görülmüştür.



Şekil 21. Soma kömürünün yüzdürme-batırma test sonucu ile FGX'den elde edilen sonucun karşılaştırılması.

5. SONUÇLAR

Küresel ısınma ve su sıkıntısının hızla arttığı günümüzde, kuru yöntemlerle kömürün zenginleştirilebilmesi önemli bir teknoloji olarak görülmektedir. Ancak uygulamalarda yaşanan sıkıntılar, düşük kül giderim oranları ve istenilen kalitede ürünlerin elde edilememesi bu yöntemlerin her seferinde ikinci planda kalmasına neden olmuştur. Bu yüzden dünya genelinde pek çok kuru kömür temizleyici

geliştirilmesine rağmen bunlardan ancak birkaçı endüstriyel ölçekte uygulama alanı bulabilmiştir. Bunlardan en bilinen tipleri sırasıyla Almanya ve Çin'de geliştirilmiş olan Allair jig ve FGX karma kuru kömür temizleme cihazlarıdır.

Bu çalışma kapsamında, özellikle Çin'de kullanımı yaygın olan FGX cihazı ile bazı Türk kömürlerinin temizlenebilirliği araştırılmıştır. En iyi koşullarda FGX cihazı ile %65'e varan bir kül giderim başarısı elde edilmiştir. Ancak, çoğu kömürlerimizde kül yüzdesindeki düşüş oranı %10 ile %15 aralığında kalmıştır. Bu durumun bir nedeni FGX cihazının 10 mm'den ince boyutlu malzemeyi ayıramaması ve direkt temiz kömür ürününe göndermesidir. Ev yakıtı kalitesinde kömür (%10-18 küllü ve en az 4500 kcal/kg ısı değerli) yalnızca %23.78 besleme külüne sahip Bolu-Mengen tüvenan kömüründen üretilmiş olup, diğer kömürlerden ev yakıtı kalitesinde kömür üretilmemiştir.

FGX cihazı daha çok kömüre göre göreceli yoğunluğu oldukça yüksek olan iri boyutlu taşların uzaklaştırılması şeklinde performans göstermiştir. Bu bakımdan cihaz özellikle düşük kalorili kömürlerin yakıldığı termik santrallerde taş ayıklayıcısı olarak kullanılabilir. Düşük küllü (%10-18) ürünlerin istendiği uygulamalarda ise yaş yıkama öncesinde ön-zenginleştirme cihazı olarak kullanılabilirliği açıkça görülmektedir.

KAYNAKLAR

Arslan, V., "Kuru kömür hazırlama yöntemleri", Madencilik Dergisi, 45 (3): 9-18,2006.

Alderman, J. K., "Improving power plant performance and reducing emissions through the use of pneumatic dry cleaning for low rank coal", SME Annual Meeting, February 26-28, Denver, Colorado,2001.

Dwari, R.K., Hanumantha, K. "Dry beneficiation of coal-A Review", Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 28:177-234, 2007.

Luo, Z., Chen, Q., "Effect of Fine Coal Accumulation on Dense Phase Fluidized Bed Performance", Int. J. Mineral Processing, 63:217-224, 2001.

Chen, Q., Yang, Y., 2003. Development of Dry

Beneficiation of Coal in China”, *Coal Preparation*, 23:3–12, 2003.

Houwelingen, J.A., Jong, T.P.R., “Dry cleaning of coal: Review, Fundamentals and opportunities”, *Geologica Belgica*, 7/3-4: 335-343, 2004.

Donnelly, J., 1999; “Potential Revival of Dry Cleaning of Coal”, *The Australian Coal Review*, October, 12-20, 1999.

Weinstein, R., Snoby, R., “Advances in dry jigging improves coal quality”, *Mining Engineering*, January, 29-34, 2007.

Hacifazlıoğlu, H., Buyurgan, S. “Soma Kömürlerin FGX Cihazı ile Temizlenmesi”, *TMMOB 21. Madencilik Kong ve Sergisi*, Antalya, 443-450, 2009.

Shaolei, Z., “Compound dry cleaning being an effective method on pre-removing refuse in heavy-medium coal washeries”, *China Coal*, 1: 9-11, 2006.

Gongmin, L., Yunsong, Y., “Development and application of FGX series compound dry coal cleaning system”, *China Coal*, 1: 17-28, 2006.

Weithkaemper, L., Wotruba, H., Sampio, C.H., “Effective Dry density beneficiation of fine coal using a new developed fluidized bed separator”, *International Coal Preparation Congress*, 587-595, 2010.

Chen, Q., Wang, H. Clean processing and Utilization of coal energy, *The Chinese Journal of Process Engineering*, 6 (3), 507-511, 2006.

Önal, G., Güney, A. “Kömür hazırlama yöntemleri ve tesisleri”, *Kömür*, ed. O. Kural, Özgün Ofset Matbacılık A.Ş., İstanbul, 269-295, 1998.

Yaman, S., Çelik, M.S., Küçükbayrak, S., “Kömürün kükürdünün giderilmesi”, *Kömür*, ed. O.Kural, Kurtiş Matbaası, İstanbul, 337-351. 1998.

Bozkurt, V., Bilir, V., Bozkurt, R. Tunçbilek 0-30 mm kriblaj ürününün kalite arttırımı, III. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, ed. G. Önal, 11-13 Eylül, İstanbul, 294-301, 1990.