

Güneydoğu Anadolu Asfaltitlerinin Yıkanabilirliğine Bağlı Tesis Tasarım Etüdü- Pnömatik Flotasyon Tesis Tasarımı

Plant Design on Assesment of The Coal Washability of South Eastern Anatolian Asphaltite - Plant Design for Pneumatic Flotation

Yıldırım İsmail Tosun

Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak

ÖZET Şırnak ilinde toplam yakıt olarak değerlendirilebilecek yaklaşık 120 milyon tonluk görünür-mümkün rezervli asfaltit yatakları bulunmaktadır. Bu çalışmada Şırnak asfaltitlerinin %32-42 Kül % 6,1-6,7 toplam S içeren (Alt ısı değeri 6200-4570 kal/kg) yıkanabilirlik etütleri yapıp, ideal A ve B modeli yıkama tesisi akım şeması geliştirilerek maliyet etüdü irdelenmiştir. Bu etütlere göre yatırım maliyetleri riskleri hesaplanıp, kömürün spiral gravite yıkama ve flotasyon yöntemi ile yıkanarak buna uygun tesis fizibilite koşulları irdelenmiştir. Böylece arama da dâhil olmak üzere yapılan çalışmalarda pnömatik flotasyon ve kolon flotasyonu ile yıkama tesis proje tasarımları irdelenmiştir. Kapasiteye bağlı yatırım ve işletme maliyetleri ve maliyete etki eden parametreler tanımlanmıştır. Sonuç olarak nitelikli temiz asfaltit üretimi (%25 Kül ve %4 Yanabilir S) için gerekli tesisin fizibilitesi değerlendirilmiştir.

ABSTRACT In Şırnak City there are valuable asphaltite reserves on possible and available total reserve of about 120 million tons for heating and energy demand. In this study, containing 32-42% Ash, 6,1-6.7% total S (Calorific value 6200-4570 kcal/kg) the standard coal washability studies Şırnak asphaltite were carried out in the spirals, the flotation units and possible advanced washing plant design was developed and discussed on cost risk data. Regarding this study capital and operational cost risk were calculated, The optimum plant units were proposed as pneumatic and column flotation units. Regarding the proposed project capacities, the capital and operational costs, the cost parameters for projected design were determined. Finally, the production of the washed asphaltite (25% ash and 4% combustible S) was proposed in this work.

1 GİRİŞ

Ülkemizde enerji ihtiyacına paralel olarak doğal kaynakların değerlendirilmesi akaryakıt ithalatını azaltarak ekonomik fayda sağlayacaktır. Temel olarak enerji üretimi ithal doğalgazdan yapılmaktadır ve % 46 lık bir paya sahiptir. İthal doğal gazdan yapılan enerji üretiminden sonra ikinci sırada kömür yer almaktadır ve kömürün %26'lık bir pay ile termik santrallerde yakılmasıyla sağlanmaktadır (TKİ, 2013). Bu oranın gelecekte enerji talebine bağlı olarak daha da artacağı tahmin edilmektedir (DPT, 2015). Yılda 83 milyon tonluk toplam linyit ve

kömür üretiminin kazanlarda ve endüstriyel fırınlarda ısıtma ve enerji ihtiyacı olarak değerlendirilmiştir. Kalitesiz kömürler mikronize boyutta kül mineral maddesi içermektedir(Kemal ve Aslan, 1999, Kural ,1991, Kemal ve İpekoğlu, 1985, Hsieh ve Wert, 1984, Laskowski J. S., 2001). Bu çalışmada Şırnak yöresinde kapatılan ocakların açılması ve üretilebilecek yüksek kalorili ancak kül oranı ve kükürt oranı yüksek asfaltitlerin yıkanması ekonomik katkısı olacağı düşünülmektedir. Şırnak asfaltitlerinin yıkanabilirlik etütleri yapıp, olası yıkama akım şeması geliştirilerek buna göre yıkama tesis yatırım ve işletme

malijetleri karşılaştırılmıştır. Fizibilite çalışmaları sonucu uygun tesis belirlenmiştir.

1.1 şırnak Asfaltitleri

şırnak asfaltitleri ÷lkemizin G÷neydoğu Anadolu b÷lgesinde şırnak ve Hakkari illerinde bulunmaktadır (MTA 1987). 120 milyon ton g÷r÷n÷r + m÷mk÷n rezervli şırnak ve Hakkari asfaltitleri % 0,2-1 nem, % 37-65 k÷l, % 6,3-7.5 toplam k÷k÷rt % 5.5-5.7 yanan k÷k÷rt, % 60-65 uçucu madde ve 2800-5600 kcal/kg alt ısı değerine sahiptir. şırnak asfaltit yatakları yayılı veya ÷bek şeklinde kaya boşluklarına sıkışma konumunda bulunmaktadır. Avgamasya ve Karatepe filonlarında yaklaşık olarak 15 yıldır üretim yapılmaktadır. Avgamasya ve Karatepe filonları 15-25m ve 10-20 m kalınlığında ÷bekler şeklinde dir. Ayrıca Hakkari, Uludere ilçesinde ve çevrede yayılı 1-20 m kalınlığında dağınık asfaltit ÷beklerine ve tabaka damarlar bulunmaktadır.

Yan kayaç olarak yatakta kalker, şeyl, marnlı kil, marn, killi kireçtaşları yer almaktadır. şırnak asfaltit k÷m÷rleri şeyl ile beraber yumuşak olup, k÷l mineral maddesi olarak mikronize boyutta ve makro boyutta kalsit pirit ve pirotin çökeltileri asfaltit k÷m÷r ve şeyl içerisinde yaygın olarak bulunmaktadır.

Isıtma amaçlı kullanılabilir 120 milyon tonluk g÷r÷n÷r-m÷mk÷n d÷şük kaliteli rezervlerin ve tespit edilen yeni rezervli asfaltitler bulunmaktadır. Genellikle G÷neydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu da k÷m÷r÷n y÷re ısıtmasında değerlendirilmesi, n÷fus az yoğun ve y÷ksek rakımlı y÷relerde ekonomik olmaktadır. K÷m÷r kaynakları geniş alanlarda aranmaya başlanıp, araştırmalar sonucunda veriler elde edildikçe, nitelikli k÷m÷r saha tespiti TKİ' nin s÷rd÷rd÷ęü arama faaliyetleri ile umut vaat etmektedir.

G÷neydoğu Anadolu b÷lgemizin coğrafi yapısı, n÷fus dağılımı incelenecek olursa, şırnak asfaltit rezervlerinin dağılımı ve kalitesi, çevre etkileri dikkate alındığında, ısıtma sektöründe tüketimini m÷mk÷n

kılmaktadır. Parça, fındık ve toz asfaltit k÷m÷rleri, az k÷l, az toplam k÷k÷rt oranlı ve y÷ksek ısı değerli olacak temiz asfaltitler şeklinde tüketilmesi ve arzı gerekmektedir. Bütün bu özellikleri bir arada içeren, zenginleştirmeden kullanılabilir ideal şırnak asfaltit yatakları kısmen yoktur.

120 milyon ton şırnak asfaltit rezervimizin; % 95'inin nemi % 1'in altında, % 5'inin k÷lü % 20'nin altında, % 15'inin k÷k÷rdü % 4 ün altında, % 65'inin k÷k÷rtü % 6'nın altında, % 85'inin alt ısı değeri 4000 kcal/kg ın üstünde, % 15'sinin alt ısı değeri 3000 kcal/kg' ın üstündedir.

Endüstriyel fırınlarda toz olarak ve ısıtma sektöründe kazanlarda yakılacak olan şırnak asfaltitlerinin yıkanıp temizlendikten sonra yakılmalarında, ekonomik ve ekolojik olarak büyük yararlar vardır.

1.2 K÷m÷r÷n Larcodems ve Humprey Spirali ile Yıkaması

D÷şük ve orta yoğunluktaki k÷m÷r türleri yıkama işleminde Larodem ayıraç yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yıkama ünitesinde tek bir Larcodem ayıraç 50 ton/saat gibi y÷ksek kapasitede yıkama sağlayabilmektedir. Bu ayıraç ile ağır ortam şartlarında 1-6 mm boyutlarında y÷ksek yanabilir randımanların sağlandığı ve k÷l oranlarının %15'in altına d÷şür÷lebildiği belirlenmiştir (Anonim f, 2016). Özellikle zor yıkanabilen k÷m÷rlerde mikst ürün eldesi ve bu misktin tekrar ufalanma sonrası işlenmesini de m÷mk÷n kılmaktadır (Kemal ve Aslan, 1999, Palowitch vd.,1991).

Humprey spiralleri y÷ksek ve orta yoğunluktaki k÷m÷rlerin yıkanmasında ve özellikle piritik k÷k÷rtü olan k÷m÷rlerin yıkanmasında çok yaygın olarak tercih edilmektedir (Anonim d,f,e, 2016). Y÷ksek yoğunluktaki ve y÷ksek küllü k÷m÷rlerin humprey spirallerinde yıkanması esnasında belirli oranda mikst ürün miktarının arttırdığı gözlenmiştir.

1.3 Kömür Flotasyonu ile Yıkanması

Flotasyon ince boyutlu kömürlerin yıkanmasında (Aplan, 1977, Chander vd.,1987, Xie, 2001) en yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bazı araştırmalar kömür tane boyutunun ve yoğunluğunun, mineral dağılımının kömür flotasyonunda (Warner, 1985, Oats vd.,2010, Degner, 1986, Kural, 1990, Ateşok, 1986) önemli kinetik ve yanabilir randımanı etkilediğini belirlemiştir. Araştırmalar tane boyutu arttıkça, yanabilir randımanın hızla azaldığını göstermiştir (Schubert, 2008). Genellikle iri taneli kömürlerin flotasyonunda randıman düşer, ancak flotasyon hızı oldukça düşüktür. Tane boyutu çok büyük olduğunda, baloncuklar üzerinde yapışma olmaz. Bunun aksine, ince kömür flotasyonunda randıman yüksektir ve flotasyon kinetiği de artar (Gupta vd., 2001). Buna karşılık, orta boy kömür taneleri için flotasyon hızı tane büyüklüğüne kuvvetlice bağlıdır. Ayrıca kömür parçacıklarının etrafında oluşan kabarcık kümelerinin iri kömür tanelerini de flotasyon ile yüzdürülmesinde etkili olduğu belirlenmiştir (Ata ve Jameson,2005, Ata, 2012). Flotasyonda boyut, katı oranının, reaktif dozajı ve reaktif türünün flotasyon başarısında etkili olduğunu belirtmiştir (Wills ve Napier-Munn , 2006, Feurstenau, 1976).

Kömür flotasyonu üzerindeki tane büyüklüğünün yanında kül mineral maddeleri ile kenetlenme derecesi (Hsieh ve Wert, 1984)ve kül mineral madde örtülmesinin de etkili olduğu belirlenmiştir (Laskowski 2001, Erol vd., 2003). Flotasyonda uygun yıkama boyut aralığının -500 mikron olduğu gözlenmiştir (Chander vd., 1987). Daha iri ve ince tane kömür boyutlarında mekanik karıştırma farklı hidrodinamik etki oluşturmuştur (Jameson, 2001). Daha yüksek enerji ve daha turbülans gerektirdiğini ve böylelikle ince taneciklerin kabarcıklar ile çarpışma olasılığını arttırdığını belirtmiştir. (Ding ve Laskowski, 2006, Klimpel ve Hansen, 1987)

Şırnak asfaltit rezervleriyle ilgili kömürlerin standart flotasyon ile yıkanabilirlik etütlerinde asfaltitlerin petrografik

yapısındaki pirit ve kiltasına bağlı yıkanabilirliği zor kömürler olarak belirlenmiştir.

1.4 Kömür Kolon Flotasyonu ile Yıkanması

Kolon flotasyonunda mikro kabarcıklar ile çok ince kömürün yanabilir verimlerde yüzdürülebildiği belirlenmiştir (Yianatos vd., 1988.). Mikro kabarcıklardan oluşan köpük zonunda düş şeklindeki bir yıkama suyu ilavesi ile daha temiz ürün kömürün alınması mümkün olabilmektedir.(Hadler vd., 2012, Jameson 2001) Özellikle zor yıkanabilen ve şisti ile şeyli yüksek oranda bulunan kömürlerde başarılı olarak kullanılan bir yöntemdir. Tane büyüklüğü ve kömür türü kolon flotasyonu yanabilir randımanını kolaylıkla etkilemektedir. Ancak kolon ünitesinin çalışma parametreleri de özellikle köpük yüksekliği, yıkama suyu ilavesi, ve bias oranı yanabilir randımanı etkileyen çalışma parametreleri olmaktadır. (Falutsu vd.,1992, Yoon, 1993, Yoon, 2000).

Kolon flotasyonunda kömür taneleri ve kabarcıkların hızlı etkileşimi nedeniyle flotasyon süresine olumlu etkilediğini belirlemiştir (Finch ve Dobby, 1990). Ancak randımanda klasik flotasyona göre şlam taneleri, kül mineral maddeleri düşük yanabilir randımana yol açmıştır. Ayrıca, kolon flotasyonu tane boyutu, şlam niteliği ve kömür türü randımanı klasik flotasyona benzer etkilemektedir (Schubert 2008, Xie ve Oua.b, 1999).

Kolon flotasyonunda köpük tabakasına yıkama suyunun düşü kil minerallerinin köpükte sürüklenerek alınmasını azaltmaktadır. Böylelikle yüksek şlamlı kömürlerde daha iyi yanabilir randımanlar elde edilmektedir. Ayrıca şlamlı kömürlerde köpüğün etkinliğini arttırmak için eğimli köpük zonu oluşturulmuştur. Bunun gravite etkisi ile köpüğe sürüklenmeyi azaltacağı belirtilmiştir. Bu esas ilke alan bir siklonik kolon flotasyon hücresi (S-FCMC) eğimli kanallar içeren bir köpük zonu sağlamıştır (FCMC) kömür yıkamada etkili olduğu

kanıtlanmış ve yaygın olarak Çin de (Rubio, 1996) kullanılmıştır. Köpük zonundan üçüncü bir sedimente olan köpük ürünü alınmıştır(Valderrama vd., 2011).

1.5 Kömür Yağ Aglomerasyonu ile Yıkılması

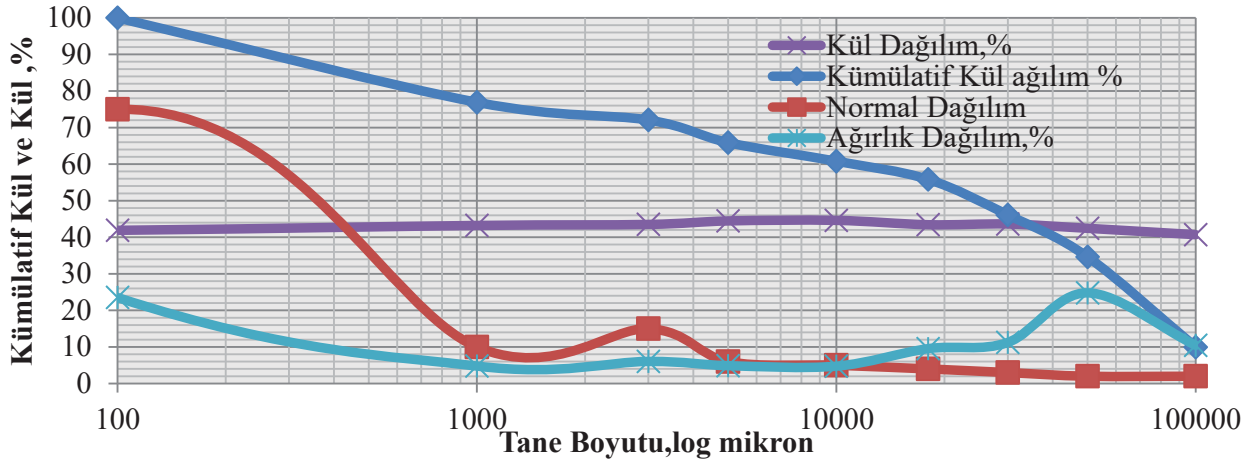
Yağ aglomerasyonu mikro boyutlu kömür tanelerini yağ ile seçimli olarak bütünleştirerek, iri aglomerat boyutuna bağlı olarak sulu ortamda çökmesi ile kilinden ayıran bir yöntemdir. Özellikle yüksek killi kömürlerde etkili olarak değerlendirilen bir yöntemdir (Xu ve Yoon, 1990). Çok ince kil minerallerinin mekanik karıştırmada sürüklenmesi ve kömür tanelerine yapışmaları kül oranının düşürülmesinde sorun oluşturmaktadır. Yüksek yoğunluktaki ve düşük gözenekli kömürlerde başarılı olduğu belirlenmiştir. Yüksek yanabilir randıman ve çok ince boyutta kömür yıkanabilmektedir ve şlam kömürler için yaygın olarak değerlendirilmektedir (Melo vd., 2004).

2 METOD VE PROJE ETÜD

Avgamasya filonu olarak yaklaşık % 67 asfaltit üretiminin gerçekleştirildiği kömür ocağından alınan temsili 120 kg lık numune konileme-dörtleme ile azaltılarak 18mm nin altına çekiçli kırıcı ile indirilmiştir. Fındık kömür olarak yaygın bir şekilde endüstriyel yakıt olarak satılabilmesi için yüksek kükürtlü ve küllü asfaltit kömürünün yıkanarak satışa sunulması düşünülmüştür. Optimum yıkama tesisi yapılan standart test sonuçlarıyla belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan Avgamasya filonu asfaltitinin kırma ve eleme öncesi temsili tüvanan boyut ve kül fraksiyonel dağılımı Çizelge 1 de verilmektedir. Şekil 1 de kül, kümülatif boyut ve normal boyut dağılımları tanımlanmıştır. Kül içerik iri ve orta boyutta daha yoğun olduğu, toz boyutta azaldığı gözlenmiştir. Özellikle 18 mm'nin altında kümülatif kül dağılımı yaklaşık %35 oranında kalmıştır. Kül yüzdesi ise bu dağılımda %41,6 olmuştur. Kükürt içeriği ise bütün fraksiyonlarda eş dağılım göstermiştir.

Çizelge 1. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin Tane Boyutuna Bağlı Nem, Kül ve Kümülatif Kül dağılımı

Elek Açıklığı mm	Ağırlık,%	Nem,%	Kül,%	Kül içerik	Kül Dağılım,%
10,44	10,44	1,1	40,71	425,01	9,96
24,8	24,8	1,03	42,45	1052,76	24,67
11,23	11,23	1,14	43,62	489,85	11,48
9,54	9,54	1,25	43,43	414,32	9,71
4,75	4,75	1,31	44,62	211,94	4,96
4,89	4,89	1,8	44,47	217,45	5,09
6,05	6,05	1,9	43,51	263,23	6,16
4,78	4,78	2,1	43,23	206,63	4,84
23,52	23,52	2,6	41,9	985,48	23,09
Toplam	100			4266,71	



Şekil 1.Şırnak Asfaltit Kömürlerinin Tane Boyutuna Bağlı Kül Dağılım, Kümülatif Kül Dağılım ve Kül Normal Dağılımı

2.1 Şırnak Asfaltitlerinin Yıkanabilirlik Etüdlere

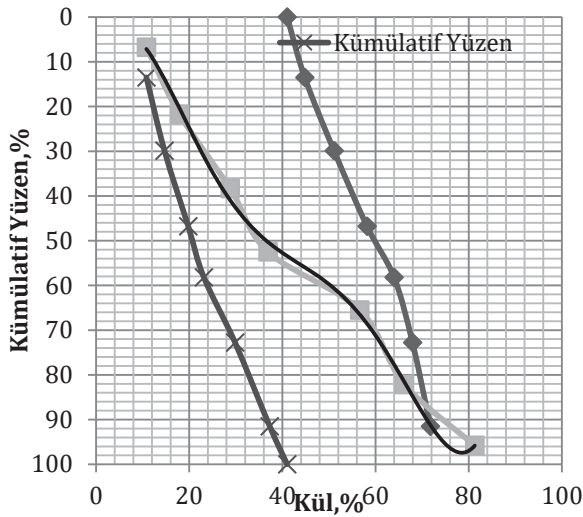
Yıkanabilirlik etütlerinde temsili -10mm boyutundaki 30 kg'lık numuneler kullanılmıştır. -18+10 ve -10+1 mm' tane fraksiyonları için ayrı ayrı yüzdürme-batırma testleri yapılmıştır. Yüzdürme-batırma testlerinde; 1.45; 1.55; 1.65; 1.70; 1.80 ve 2 gr/cm³ yoğunluklarındaki ZnCl₂ çözeltileri kullanılmıştır. -18+10 mm boyut

fraksiyonunun test sonuçları benzer olduğu için bu çalışmada -10+1 mm fraksiyonunun değerleri temel alınmıştır.

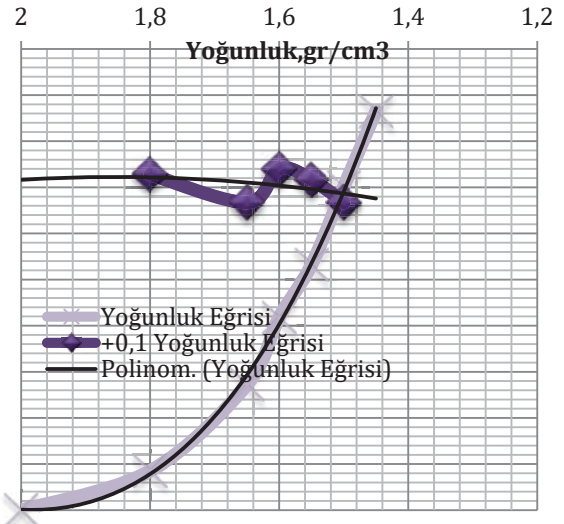
Tane sınıflarına göre yapılan yıkanabilirlik sonuçlarından; -18+10 mm ve -10+1 mm tane sınıfları için hesaplamalarla elde edilen kümülatif yıkanabilirlik test sonuçları Çizelge 2 de verilmiştir. Bu çizelgedeki verilere göre karakteristik kül eğrileri Şekil 2 de ve yıkanabilirlik eğrileri Şekil 3 de tanımlanmıştır.

Çizelge 2. Şırnak Asfaltit kömürlerinin Yüzdürme Batırma Test Sonucu; (-18+1) mm Tane Sınıfındaki Yıkanabilirlik Değerleri

Yoğunlu k (g/cm ³)	Yüze n %	Yüzen Malda % Kül	Kül İçerik.	Kümülatif % Yüzen Ağ.	Kümülatif Yüzen % Kül Ağ.	Yüzen Malda % Kül	Kümülatif % Batan Ağ.	Kümülatif f % Kül Ağ.	Kümülatif % Batan Ağ.	Kümülatif f % Kül
1,45	13,5	10,8	145,8	13,5	145,8	10,8	100	4102,09	41,02	6,75
1,5	16,4	17,9	293,56	29,9	439,36	14,69	86,5	3875,29	44,80	21,7
1,55	16,9	28,8	486,72	46,8	926,08	19,78	70,1	3581,73	51,09	38,35
1,6	11,4	36,9	420,66	58,2	1346,74	23,13	53,2	3095,01	58,17	52,5
1,65	14,6	56,6	826,36	72,8	2173,1	29,85	41,8	2674,35	63,97	65,5
1,8	18,7	66,2	1237,94	91,5	3411,04	37,27	27,2	1847,99	67,94	82,15
2	8,5	81,3	691,05	100	4102,09	41,02	8,5	610,05	71,77	95,75
	100	41,02	4102,09							



Şekil 2. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin Karakteristik Kül Eğrisi.



Şekil 3. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin Yıkanabilirlik Eğrileri.

Yüzdürme-batırma testlerinde tüvanan numunenin ağırlık olarak %56 sı temsil edilmiştir ve %23,7 küllü temiz kömür %58,2 ağırlık oranında 1,6 yoğunlukta yüzdürülebilmektedir. %29,7 küllü temiz kömür %68,2 ağırlık oranında 1,65 yoğunlukta yüzdürülebilmektedir. Bu da kömürün ağır bir yoğunluğa sahip olduğunu tanımlar. Yoğunluk eğrilerinden 0,1 yoğunluk değişiminde %30(>%10) jig ve masa gibi gravite yıkamanın etkin olmayacağı belirlenmiştir.

3 BULGULARIN İRDELENMESİ

3.1 Kömür Humprey Spiralleri ile Yıkanması

Tüvanan numunenin -3+0,5 mm tane fraksiyonundaki yıkanabilirlik etüdü laboratuvar ölçekli spiral testleriyle saptanmıştır. Yapılan 5 adet test sonucunda temiz kömür mikst ve şeyl atık oldukça iyi sonuçlar vermiştir. -3+0,5 mm tane fraksiyonunun humprey spiral ile yıkanması sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3 te verilmektedir.

Çizelge 3. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin -3+0.5 mm Tane Sınıfındaki Spiral Yıkama Test Değerleri (Tüvanan kömürün ağırlık olarak %26,3'ü, Toz kömürün %65,7'si)

Ürünler	Ağırlık, %	Kül, %	Kül İçerik, %	Yanabilir Kükürt, %	Kükürt İçerik, %	Yanabilir Ürün	Yanabilir Randıman
Temiz Kömür	45	28	30,80	4,40	33,93	67,60	57,11
Mikst	15	42	15,40	4,90	12,59	53,10	14,95
Şeyl Atık Besleme	40	55	53,78	7,80	53,47	37,20	27,93
	100						

Tüvanan kömürün ağırlık olarak %26,3 (-3+0.5) mm boyut fraksiyonunda yıkanması sonucunda, % 57.5 kömür verimi ile % 28.4 küllü toz asfaltit olarak kazanılabileceği Çizelge 3'den görülmektedir.

3.2 Kömür Flotasyonu ile Yıkanması

1 litre Denver laboratuvar flotasyon hücresi kömür flotasyonu testleri için temiz kömür mikst ve atık ürünleri üretmek için

kullanılmıştır. Testlerde 3 dk kondüsyon süresi ve 3 dk kömür, 2dk mikst için flotasyon süresi kullanılmıştır. %20 katı/ıvı oranında 1500rpm karıştırma hızında çalışılmıştır. Kömür flotasyonu testlerinde, kerosen 300 g/ton MIBC 400 g/t kondüsyonlanmıştır

Kömürün % 70.52 si % 56.28 kömür verimiyle % 24.3 küllü yıkanmış kömür olarak kazanıldığında tüvenan kömürdeki külün % 61 i artık şeyl olarak atılacaktır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin -0.5 mm Tane Sınıfındaki Kömür Flotasyonu ile Yıkama Test Değerleri. (Tüvenan kömürün ağırlık olarak %17,9'u, Toz kömürün %42,3'ü)

Ürünler	Ağırlık ,%	Kül, %	Kül İçerik, %	Yanabilir r Kükürt, %	Kükürt İçerik,%	Yanabilir Ürün	Yanabilir Randıman
Temiz Kömür	42	24	24,24	5,50	39,74	70,50	56,28
Mikst	18	35	15,15	5,90	18,27	59,10	20,22
Şeyl Atık	40	63	60,60	6,10	41,98	30,90	23,49
Besleme	100		100				100

Tüvenan kömür bazında ağırlık olarak %17,9 unu ve toz kömürün %42,3 ünü teşkil eden -0.5 mm tane boyutundaki şlam Şırnak asfaltiti flotasyon ile yıkadığı zaman yüksek yanabilir randımanlar elde edilmiştir. Bunun asfaltitin bitüm içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak şeyl ile kenetli kömür de paralel olarak temiz kömür ürün olarak alınmıştır. Testlerden elde edilen mikst ile temiz kömürün kümülatif sonuçlarından; % 76,5 yanabilir randımanla ile % 28.4 küllü toz kömür ürün olarak kazanılabileceği Çizelge 4'den görülmektedir.

kullanılan reaktifler kullanılarak kömürün kolon flotasyonu testleri gerçekleştirilmiştir. Kömürün kolon flotasyonu testlerinde kerosen 300 g/ton MIBC 400 g/t kondüsyonlanmıştır Köpük yüksekliği 30 cm olarak sabit tutulmuştur. Sıfır Bias oranı temiz kömür ve şeyl atık ürünleri üretmek için kullanılmıştır. Testlerde 3 dk kondüsyon süresi ve 5 dk kömür için flotasyon süresi kullanılmıştır. %20 katı/sıvı oranında 200ml/dk yıkama suyunda çalışılmıştır.

Kolon flotasyonu testleri sonuçlarından temiz kömür, şeyl atık alınmış ve kül kükürt yanabilir randıman denge dağılımı Çizelge 5'da verilmiştir. Buna göre (-100mikron) mm tane iriliğindeki Şırnak asfaltiti mikst ile temiz kömür kümülatifinde % 60.60 yanabilir randımanıyla % 24.3 küllü yıkanmış kömür olarak kazanıldığında kömürdeki külün % 64'ü şeyl atıkla atılacaktır.

3.3 Kömür Kolon Flotasyonu ile Yıkama

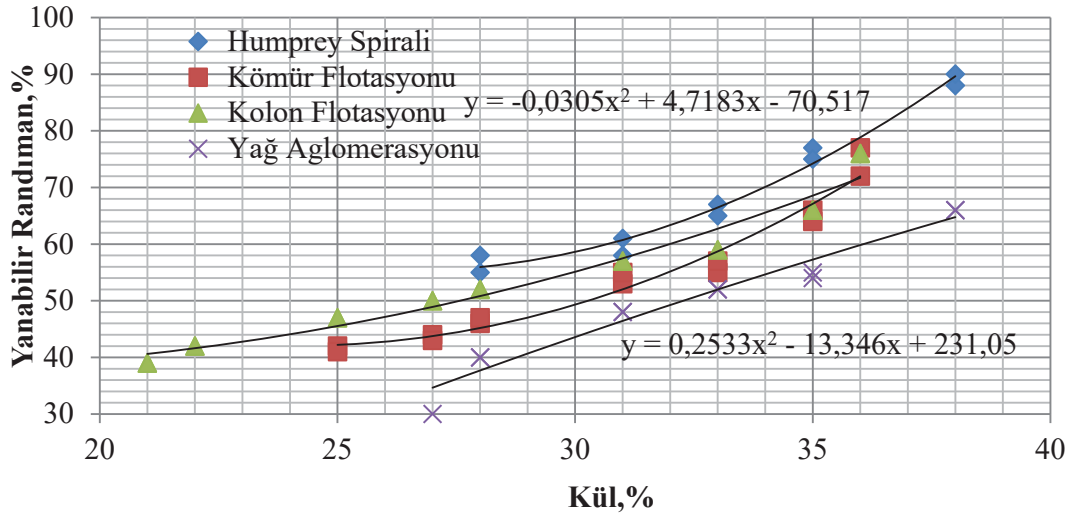
Temsili -0,5 mm numuneler öğütülerek -100mikron boyutuna kontrollü indirilmiştir. 1 m yüksekliğindeki 3cm çapındaki kolon cam hücrede laboratuvar kolon flotasyon hücresi kullanılmış ve testlerde klasik flotasyonda

Çizelge 5. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin -0.5 mm Tane Sınıfındaki Kömür Flotasyonu ile Yıkama Test Değerleri (Tüvenan kömürün ağırlık olarak %10,7'si, Toz kömürün %35,2'si)

Ürünler	Ağırlık,%	Kül,%	Kül İçerik,%	Yanabilir Kükürt,%	Kükürt İçerik,%	Yanabilir Ürün	Yanabilir Randıman
TK	35	22	18,68	5,40	32,55	72,60	47,94
Mikst	10	27	6,55	5,60	9,64	67,40	12,71
Şeyl Atık	55	56	74,75	6,10	57,79	37,90	39,33
Besleme	100		100		100		100

Spiral testleri sonuçlarından üretilen temiz kömür ürünlerin randımanları %84 den %26 küllü kömür için %52 değerine düşmüştür. Flotasyon testleri sonuçlarından üretilen temiz kömür ürünlerin randımanları %74 den %24 küllü kömür için %45 değerine düşmüştür (Şekil 4). Şekil 5'de görüldüğü gibi -100mikron numunelerin kolon flotasyonu test sonuçlarından üretilen temiz kömür

ürünlerin randımanları %67 den %22 küllü kömür için %42 değerine düşmüştür. Selektif yağ aglomerasyonunda temiz kömür ürününün randımanı diğer yöntemlere göre daha düşük olmuştur. Aglomerasyonda toz Şırnak asfaltiti %40,6 yanabilir randımanıyla % 27,5 küllü yıkanmış kömür olarak kazanılmıştır.



Şekil 4. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin Toz Boyutta Temiz Kömür Külüne Bağlı Yıkama Ünitesi Kömür Randıman Değerleri

4 PROJE TASARIMI - KÖMÜR YIKAMA TESİSİ

Zor yıkanabilen kömürlerin temizlenmesinde yaygın olarak kullanılan iri kömür ağır ortam yıkama teknelerinde veya tamburlarında, ince kömürde (18-1mm) boyutunda ağır ortam siklon ünitelerinde değerlendirilmektedir (Anonim a.b.c.d.e.f.,2015). Şırnak asfaltitlerinin yıkanmasında bu üniteler randıman sağlayamayacağı için Larcodem veya Humprey spiralleri kullanan ince kömür yıkama üniteleri faydalı olacağı düşünülerek yıkama tesis tasarımları yapılmıştır. Yukarıdaki yıkama test sonuçlarına göre aşağıdaki iki farklı tasarım yatırım ve işletme maliyeti açısından irdelenmiştir. Kömür flotasyonu ile birlikte kolon flotasyonu uygulayan tesis tasarımı A Şekil 5 de görülen üniteleri içermektedir. Sadece kömür flotasyonu ünitesinin kullanıldığı tasarım B ise Şekil 6 da görülmektedir.

Esas olarak Tasarım A Tesisi Ağır ortam siklonları, Humprey spiralleri, Pnömatik flotasyon ünitesi masalar ve Jameson/Wemco Kolon flotasyon ünitesini içermektedir. Son zamanlarda geliştirilen yüksek performanslı kolon flotasyon üniteleri de şlam kömür yıkamasında, başarı ile kullanılabilir (Anonim a,b,c,d,e,f., 2015).

Yukarıda belirtildiği gibi Şırnak asfaltitleri 1.7 gr/cm³ yoğunlukta ortalama % 25.5 küllü yıkanmış temiz kömür olarak elde edilebilmektedir. Şırnak asfaltit kömürlerinin şeyl minerallerinin yoğunluğu 2,5 ve yaklaşık %8 gözeneğe sahiptir. Bu da kömür ile atık arasında yıkama yoğunluğu olarak 0.8 gr/cm³ lük bir yakın farkı tanımlamaktadır Asfaltit yıkama tesisi akım şeması B tasarımı için aşağıda görüldüğü gibidir.

Ağır ortam yıkama ünitelerinin yatırım ve işletme maliyetleri diğer yıkama ünitelerine göre daha yüksektir. Bu nedenle sadece ağır ortam siklon ünitesi yapılan proje çalışmasında önerilmiştir. Ayrıca ağır ortam

ünitelerinin sürekli olarak denetimi gerekmektedir.

Bu tesis tasarımına göre;

- Tüvanan kömür, asfaltit çekiçli kırıcıda -20 mm' ye ufalanacak, ufalanmayan şistte (+40/50 mm) kalabilecek iri şeyl/marn triyaj bandında elle ayıklanacaktır.
- 100 mm den ince kömür, (-100+18)mm, (-18+2)mm, (-2+0.5)mm, -0.5 mm tane fraksiyonlarına elenecektir.
- (-20+2)mm tane fraksiyonundaki asfaltit ağır ortam siklonunda temizlenecektir.
- Ağır ortam siklon miksti yeterince temiz olmadığından Mikst çekiçli kırıcıda ufalanarak (-2) mm ince kömür Humprey spiriline beslenecek,
- (-2+0.5) mm tane fraksiyonu Humprey spiralinde yıkanacak,
- İnce kömür, -0.5 mm fraksiyonu pnömatikflotasyon ünitesinde yıkanacaktır.
- -0.100 mm şlam kömürü olarak Jameson kolon flotasyon ünitesinde yıkanacak,
- İnce ve şlamşeyl artıklar, tikiner çıkışından pompa ve boru ile uzaklaştırılacaktır.

Yıkama tesisinin talebine göre tüvanan kömür 21 \$/ton parasal değeri karşılığında satın alınarak lavvar tesisinde yıkanacaktır. Önerilen yıkama tesisinde yıkama ince ve toz kömür için yapılacaktır. İnce boyutlu ürün siklonlar ile toz şlam boyutlu asfaltit ise flotasyon ünitesi ile yıkanacaktır. % 43.40'ı % 25,4 küllü yıkanmış ince toz kömür (-2+0.5 mm), olarak üretilebilecektir. % 6,7 ağırlık oranındaki Şlam kömürün ortalama külü ise % 25,4 olacaktır.

Şırnak asfaltitlerinin külü % 25,4 küllü , % 4.7 yanabilir kükürt içeren 7200 kcal/kg alt ısı değerinde (Çizelge 6), ısıtma yakıtı olarak kullanılabilir taşkömürü eşdeğerinde yıkanmış asfaltit üretilebilecektir. 120 milyon ton görünür-mümkün 160 milyon ton Şırnak asfaltit rezervi bulunmaktadır. Bu rezerv 1

milyon ton/yıl kapasiteli üretimle 80 yıldan fazla çalıştırılabilir.

Bu önerilen A Tesis Tasarımı ile yapılacak yıkama işleminde, tesisden, 1.7 gr/cm³ yıkama yoğunluğunda, yılda;

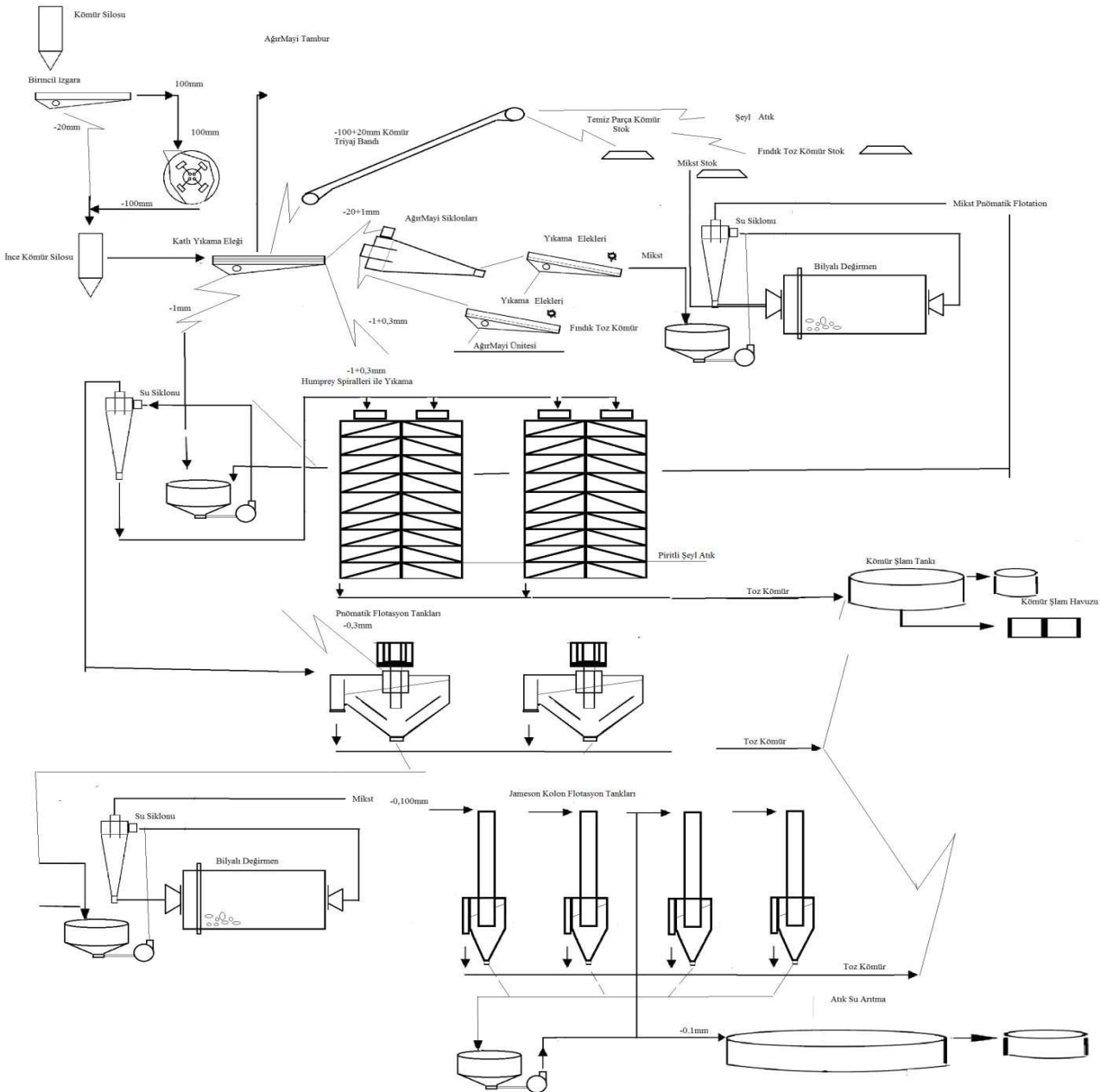
- Ev yakıtı olarak (19-10 mm) 450 000 ton,
- Sanayi yakıtı olarak (-10/-0.5 mm) 200 000 ton,
- Santral yakıtı olarak (-10+2 mm; % 35 küllü mikst asfaltit) 135 000 ton yıkanmış asfaltit üretilebilecektir (Çizelge 5).
- Yıkama tesisinde tüvanan kömürdeki külün % 70-74 ü artık olarak atılabilecektir (Çizelge 3-4-5).
- Tesiste üretilecek 600 000 ton yıkanmış kömürün eşdeğeri 750 000 ton tüvanan kömürdür. Şırnak'da ısınma yakıtı olarak tüvanan kömür kullanma yerine yıkanmış kömür kullanmakla tasarruf edilecek (150 000 ton/yıl) nakliye masrafı yılda 1,2 milyon TL dir. Yaklaşık olarak 35 milyon \$ lık tesis yatırım sermayesi ile, bugünkü banka faizleri (% 7)' ile yılda üretilecek 600 bin ton yıkanmış kömür ve 135 bin ton mikst ürünün yıllık toplam işletme maliyeti 39,32 TL/ton ve bir ton yıkanmış ton kömürün tesiste yıkanma maliyeti yaklaşık olarak 60,68 TL/ton olacağı hesaplanmıştır.
- Kazan taban külünün atımı belediyelerin yükünü ton başına 20 TL/ton değerinde azaltacaktır.

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

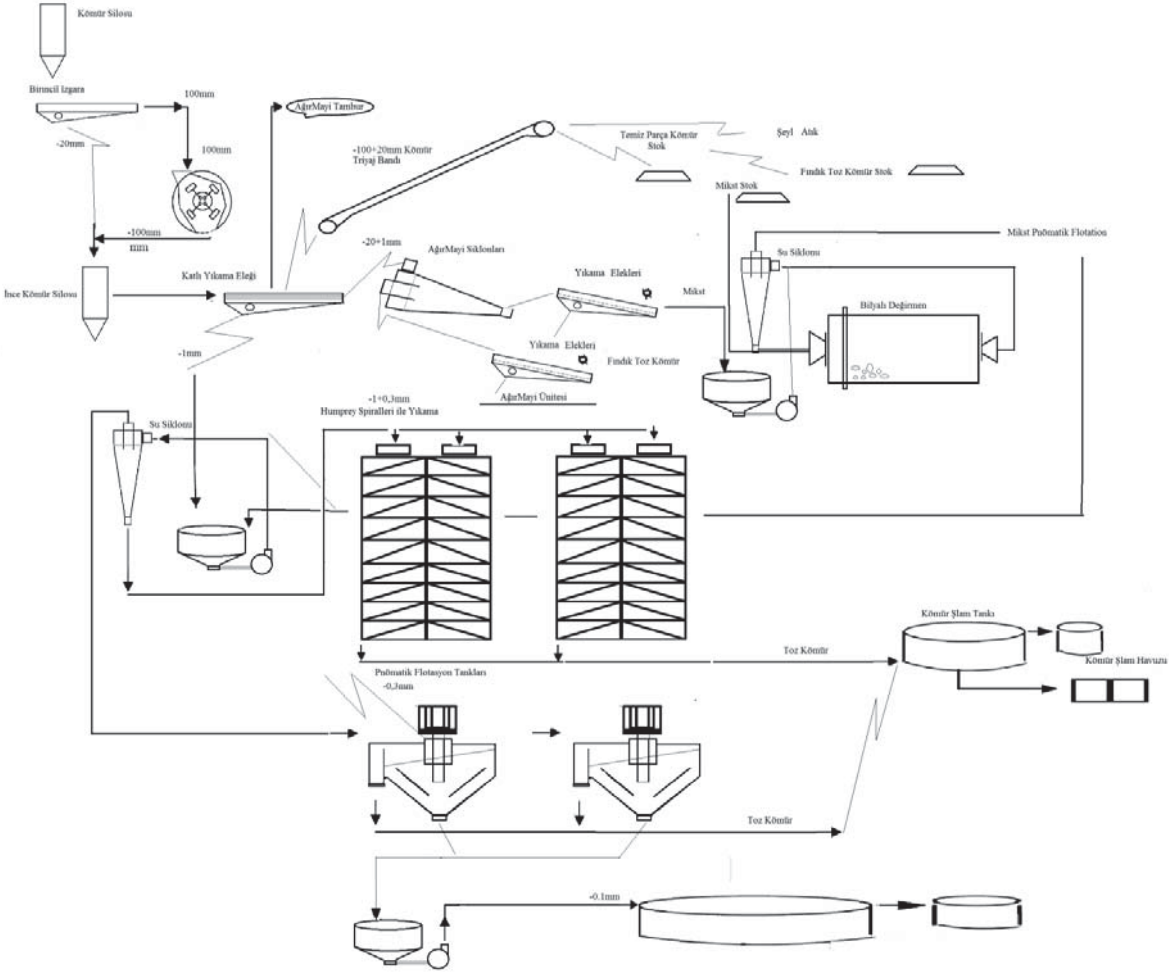
Şırnak asfaltitlerinin yüksek kül oranına bağlı olarak klasik flotasyon ve kolon flotasyonunda düşük yanabilir randıman gösterdiği ayrıca yanabilir kükürtün yeterli olarak temiz kömür üründe düşürülemediği belirlenmiştir. Yıkama tesisi ile kömürdeki kül malzemesinin % 62 'isi kömürden atılmaktadır. Böylece hava kirliliği azaltılabilecektir. Yanabilir kükürtün %38'i atılabilmektedir.

Şırnak asfaltitleri, Türkiye'nin asfaltit rezervlerinin (görünür ve mümkün) tamamını içerir. Bu asfaltitleri çıkarıldığı yörede işleyecek bir yıkama tesisi ile yıkanması, kül ve kükürt içerikleri düşürülerek değerlendirilmesi hem taşıma maliyeti hem de çevrenin korunması açısından avantaj

sağlayacaktır. Yıkama işlemi gerçekleştirildiği takdirde % 25,2 kül ve % 4,3 yanar kükürlü, 6700 kcal/kg alt ısı değerli, hem kazanlar için ısıtma amaçlı hem de endüstriyel temiz yakıt olabilecek yıkanmış kömür üretilenmektedir.



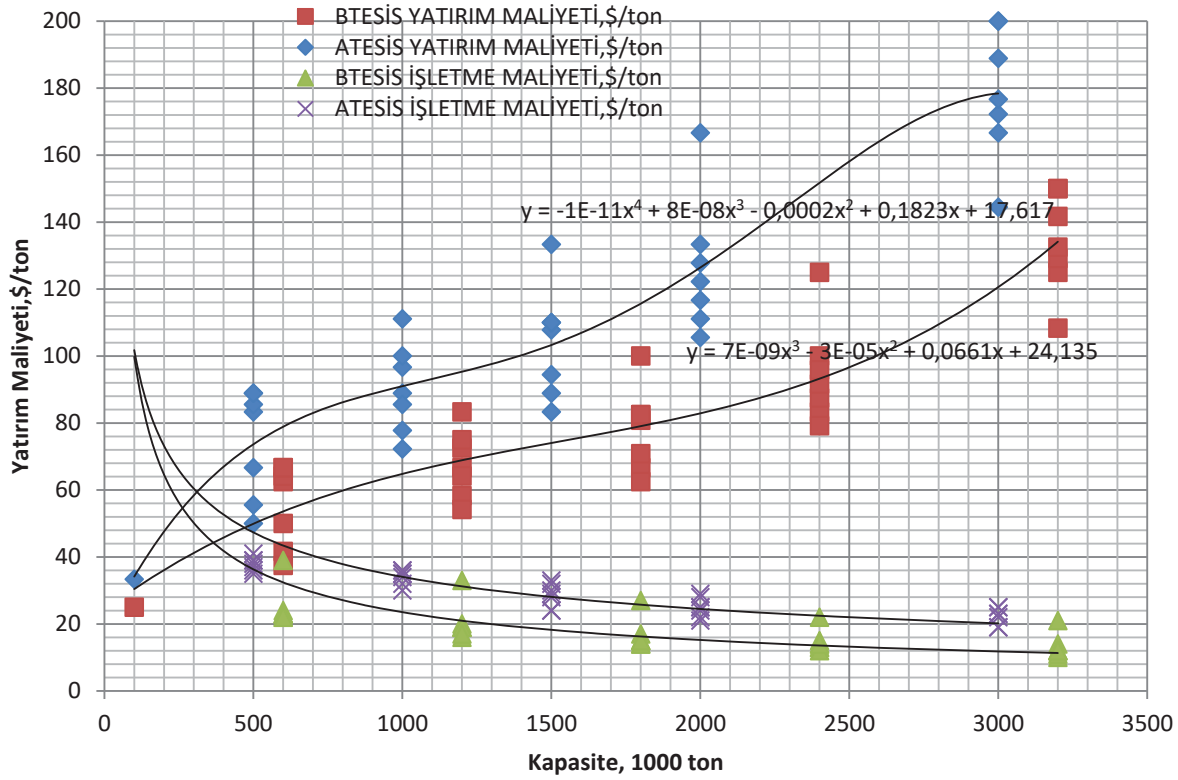
Şekil 5. Proje ATasarımı Şırnak Asfaltiti yıkama tesisi genel akım şeması



Şekil 6. Proje BTasarımı Şırnak Asfaltiti yıkama tesisi genel akım şeması

Çizelge 6. Şırnak Kömürlerinin Yıkama Tesis Ürünleri Analiz Sonuçları

Ürünler	Nem	Kül	Yanabilir Kükürt	Alt Isıl Değeri, kcal/kg
Tüvenan	0,5	42	6,5	4870
İri Temiz kömür	0,3	39	6,7	6320
Fındık Temiz Kömür	0,5	34	5,9	6140
Temiz Toz Kömür	0,7	26	4,5	7230
Mikst	0,7	36	4,7	5680
Şeyl	1,8	58	3,7	2260



Şekil 7. Proje Tesislerinin Yatırım ve İşletme Maliyetlerinin Kapasiteye göre Değişimi

Triyaj uygulaması zaruri olarak gerekmektedir. Özellikle kapalı işletme üretiminde karışacak aynı renkteki şeyl kayaç karışmasıyla kazılan ürün kalitesi azalacaktır. Ayrıca şeyl ve kömür yoğunlukları arasındaki farkın çok az olması nedeniyle yıkama işlemini daha da güçleştirecektir.

Kurulması planlanan bir milyon ton/yıl kapasiteli yıkama tesisinin işletmeye alınma anındaki yaklaşık 39 TL/ton kömür tutarındaki maliyetin %4'ü üç yıllık kuruluş aşamasındaki faiz yükünden kaynaklanmaktadır. 39 TL/ton kömür tutarındaki işletme sermayesine % 40 kar beklentisi ile maliyetler hesaplandığında; üretilen kömürün tesiste maliyeti 76 TL/ton değerine ulaşmaktadır.

Yıkama tesis yatırım maliyetini, işletme maliyetini azaltmak için tesis kapasitesini artırmak ve araştırmalar ile son zamanlarda yaygın kömür yıkamada kullanılan "Larcodem Separatörleri" kullanılabilir (Anonim d,e, f, 2016).

Zor yıkanabilir Şırnak ve Hakkâri asfaltitlerimizin büyük çoğunluğunu

optimum yıkayabilecek yöntemlerin araştırılıp bulunması gerekmektedir.

Ayrıca teknolojik açıdan zor yıkanabilen Şırnak asfaltitlerimizin, yıkama tesis kurulumunu kısıtlayan makro ekonomik faktörler, akaryakıt ithali, çevresel yaptırımlar gibi tehditler ekonomik olarak irdelenmesi gerekecektir.

KAYNAKLAR

- Akdemir, Ü.,and I. Sönmez. 2003. Investigation of coal and ash recovery and entrainment in flotation. *Fuel Processing Technology* 82(1): 1–9
- Anonim a, 2016, *Tekfen İnşaat Şirket* web sayfası, <http://www.tekfeninsaat.com.tr>
- Anonim b, 2016, *Gayret Makina Şirket* web sayfası, <http://www.gayretmakina.com.tr>
- Anonim c, 2016, *Multotec Şirket* web sayfası, <http://www.multotec.com/category/industry/coal>
- Anonim d, 2016, *MBE Şirket* web sayfası, <http://www.mbe-cmt.com/en/products/pneufлот%С2%АЕ/pneufлот%С2%АЕ>
- Anonim e, 2016, *SCHAUBURG Şirket* web sayfası, http://www.schauburg-aka.com/index_e.html
- Anonim f, 2016, *CWP Şirket* web sayfası, <http://cwp.com.tr/en/products.aspx?id=30>
- Aplan F.F., 1977, Use of the Flotation Proess Desulphurization of Coal, *Coal Desulfurization:*

- Wheelock T.D.(ed), ACS Symposium Series, Washington
- Ata , S. , and Jameson G. J.. 2005, The formation of bubble clusters in flotation cells, *International Journal of Mineral Processing* 76 : 123 – 139
- Ata, S. 2012. Phenomena in the froth phase of flotation—A review. *International Journal of Mineral Processing* 102: 1–12.
- Ateşok,G., 1986, *Kömür Hazırlama*, Kurtuluş Matbaası, İstanbul
- Chander S.,Mohal B. R., and Aplan F. F. 1987, Wetting Behavior of Coal in the Presence of Some Nonionic Surfactants, *Colloids&Surfaces* , Vol. 26 , pp. 205 – 213.
- Degner V.R., 1986, Flotation Machine Size Selection, *COALPREP86* Conference papers, p319-349
- Ding K. and Laskowski J. S., 2006, Coal Reverse Flotation. Parts I and II , *Minerals Engineering* , Vol. 19 , pp. 72–78, 79–86.
- DPT, 2015, *Madencilik*, 9 Kalkınma Özel İhtisas Raporu.
- Erol, M., C. Colduroglu, and Z. Aktas. 2003. Theeffect of reagents and reagent mixtures on frothflotation of coalfines. *International Journal of Mineral Processing* 71(1): 131–145.
- Falutsu, M., G. S. Dobby. 1992. Froth performance in commercial sized flotation columns. *Minerals Engineering* 5(10): 1207–1223
- Finch J.A., Dobby, G.S.(Eds), 1990, *Column Flotation*, Pergamon Press, Toronto
- Fuerstenau M.C., 1976, *Flotation*, AIME, New York
- Gupta, A. K., P. K. Banerjee, A. Mishra, and P. Satish. 2007. Effect of alcohol and polyglycol ether frothers on foam stability, bubble size and coal flotation. *Fine Coal Processing*, eds. S. K. Mishra and R. R. Klimpel, 78–109. Park Ridge, NJ: Noyes Publications.
- Hadler, K., M. Greyling, N. Plint, and J. J. Cilliers. 2012. The effect of froth depth on air recovery and flotation performance. *Minerals Engineering* 36: 248–253.
- Hsieh K.C. ve Wert, C.A. 1984, Ultra fine Minerals in Coal: Process Mineralogy III Ed. William Petruk, AIME
- Jameson , G. J. 2001 . The flotation of coarse and ultra fine particles *International Journal of Mineral Processing*72 : 12 – 15
- Kemal, M., Arslan, V., 1999. *Kömür Teknolojisi*, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İZMİR, 975-441-142-5
- Kemal. M.,İpekoğlu, Ü. 1985, Türkiye'nin Yakacak Gereksinimi ve Çözüm Olanakları, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi*, T.M.M.O.B. Maden Mühendisleri Odası, Ankara
- Klimpel , R. R. , and R. D. Hansen . 1987 *Fine Coal Processing* . New York : Noyes Publications
- Klimpel, R. R.,and R. D. Hansen. 1987. Chemistry of fine coal flotation. *Fine Coal Processing* 78–109
- Kural, O.,1999, *Kömür*, Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş.,İstanbul
- Laskowski J. S., 2001, *Coal Flotation and Fine Coal Utilization* , Elsevier , Amsterdam.
- Melo, M. Pawlik, and J. S. Laskowski, 2004, Effect of Coal Surface Wettability on Aggregation of Fine Coal Particles, InParticle Size Enlargement in Mineral Processing –Proc. 5th UBC-Mc GillInt. Symp. (J. S. Laskowski, ed.), CIM Metallurgical Society , Montreal , 2004.
- Oats, W. J., O. Ozdemir, and A. V. Nguyen. 2010. Effect of mechanical and chemical clay removals by hydrocyclone and dispersants on coal flotation. *Minerals Engineering* 23(5): 413–419.
- Palowitch, E.R.,Deurbrouck, Parsons, T.H.,1991, Part2.Wet fine particle concentration, Coal Preparation (Eds. J.W. Leonard, B.C. Hardinge 5thEd.),SMME,AIME,Colorado.
- Rubio, J. 1996. Modified column flotation of mineral particles. *International Journal of Mineral Processing*48(3): 183–196
- Schubert, H. 2008. On the optimization of hydrodynamics in fine particle flotation. *Minerals Engineering* 21(12): 930–936
- Valderrama, L., M. Santander, M. Paiva, and J. Rubio. 2011. Modified-three-product column (3PC) flotation of copper-gold particles in a rougher feed and tailings. *Minerals Engineering* 24(13): 1397–1401
- Warren, L. J. 1985. Determination of the contributions of true flotation and entrainment in batch flotation tests. *International Journal of Mineral Processing* 14(1): 33–44
- Wills , B. A. , and Napier-Munn T. J., 2006 . *Wills' Mineral Processing Technology* .Boston : Butterworth-Heinemann
- Xie , G. Y. , and Ou Z. S.. 1999 . Research on coal washing desulfurization .Journal of China University of Mining&Technology 28 (5) : 502 – 505
- Xie , G. Y. , and Ou Z. S.. 1999 . The study and practice of cyclonic microbial flotation column of ash and pyritic sulfur rejection from coals .Mining Science andTechnology5 : 511 – 514.
- Xie , G. Y. 2001 . *Mineral Processing* .Xu Zhou, China University of Mining and Technology Press
- Xu Z. and Yoon R. H., 1989, The Role of Hydrophobic Interactions in Coagulation , *J. Colloid and Interface Sci.* , Vol. 132 , pp. 532 – 541.

- Xu Z. and Yoon R. H., 1990, A Study of Hydrophobic Coagulation , J. Colloid and Interface Sci. , Vol. 134 , pp. 427 – 434
- Yianatos, J. B., J. A. Finch, and A. R. Laplante. 1988. Selectivity in column flotation froths. *International Journal of Mineral Processing* 23(3): 279–292.
- Yoon, R. H. 1993. Micro bubble flotation. *Minerals Engineering* 6(6): 619–630.
- Yoon, R. H. 2000. The role of hydrodynamic and surface forces in bubble–particle interaction. *International Journal of Mineral Processing* 58(1): 129–143.