

Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme

Nd-Fe-B Alaşımllı Kalıcı Mıknatısların İnce Tane Boyunda Seramik Hammaddelerinin Yaş Manyetik Zenginleştirilmesinde Kullanılması

Ö.Y. Gülsoy, E.C. Orhan, S. Dikmen & A. Obut
Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET: Bu çalışma kapsamında, ince tane boylarında manyetik ayırma için kullanılan yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılara, düşük yatırım ve işletme maliyeti sayesinde alternatif olabilecek neodmiyum-demir-bor (Nd-Fe-B) alaşımllı kalıcı mıknatısların kullanılabilirliği araştırılmış ve ekipmanın tesis ölçekli uygulamasına temel oluşturacak ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, seramik sektöründeki ana hammaddelerden biri olan kaolinin Fe_2O_3 içeriğinin kalıcı mıknatıslar kullanılarak düşürülmesine çalışılmıştır. Bu amaçla, tasarlanan ekipmandaki işlem değişkenleri göz önünde bulundurularak, değişkenlerin sulanabilmesi için laboratuvar ölçekli kesikli bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Bu düzende, kullanılan mıknatıs sayısı, pulp yoğunluğu ve mıknatısların pulp içinde durma süresinin ayırım üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Nd-Fe-B alaşımllı kalıcı mıknatısların kullanıldığı bir ekipmanın başarılı ayırımlar sağlayabileceği yönünde umut vermektedir. İnce tane boyunda düşük maliyetle etkin ayırım sağlayan bir manyetik ayırıcı seramik hammaddesi üreticilerinin ihtiyacı olan düşük Fe_2O_3 içereklili hammadde üretiminde yararlar sağlayacaktır.

ABSTRACT: Within the scope of this study, as an alternative to high intensity wet magnetic separators for magnetic separation in fine sizes, the usage of neodymium-iron-boron (Nd-Fe-B) permanent magnets due to their low capital and operating costs is investigated and preliminary experiments forming the bases of a plant-scale equipment are conducted. During the study, the Fe_2O_3 content of kaolin, which is one of the major raw materials of ceramics, is intended to be reduced by means of permanent magnets. For this purpose, a laboratory-scale batch setup is prepared in order to examine the operating variables of the designed equipment. In this setup, the effects of number of magnets, pulp density and the residence time of magnets in pulp on the separation efficiency is investigated. Obtained results are promising that an equipment comprised of Nd-Fe-B magnets can provide reasonable separation. A magnetic separator providing an efficient separation in fine sizes with low cost would be used in producing concentrates with low Fe_2O_3 content requested by ceramic raw material producers.

1 GİRİŞ

Seramik sektöründe kullanılan hammaddelerde en önemli sorunların başında bu hammaddelerin içermiş oldukları renk verici demirli bileşenler gelmektedir. Seramik ürünlerde demir kirlenmesi, doğal kaynaklı olarak hammaddeler içindeki hematit, ilmenit ve mika gibi demir içeren tali minerallerden kaynaklanabileceği gibi, hammaddenin işlenmesi sırasında metal yüzeylerin aşınması sonucunda hammadde içine karışım şeklinde de olabilmektedir.

En önemli seramik hammaddelerinden kuvars ve feldispatın içerdeği renk verici minerallerin ayrılmasında günümüz endüstriyel hammadde

üretiminde flotasyon, kuru manyetik ayırma ve yaş manyetik ayırma yöntemleri (Gülsoy vd., 2004a), kaolinin zenginleştirilmesinde ise flotasyon teknik olarak mümkün ise de daha ziyade sınıflandırma ve yaş manyetik ayırma kullanılmaktadır.

Neodmiyum-demir-bor (Nd-Fe-B) seramik mıknatısların kullanıldığı yüksek alan şiddetli sabit mıknatıslı rulo tipi kuru manyetik ayırıcılar, dar tane boyu aralığında besleme yapılması koşuluyla, hem etkin bir ayırım yapması hem de görece düşük yatırım ve işletme maliyeti sağlaması nedeniyle endüstriyel hammaddelerin zenginleştirilmesinde öncelikli olarak tercih edilmektedir (Bayraktar, 2001). Ancak 53-74 (im'dan ince fraksiyonun tane-tane ve tane-bant etkileşimleri ile ayırım verimini

oldukça düşürmesi nedeniyle, bu fraksiyonun ekipmana beslenmeden şlam olarak ayrılması gerekmektedir ki bu da sabit mıknatıslı rulo tipi kuru manyetik ayırıcıların en önemli dezavantajını oluşturmaktadır. -200 fım gibi ince tane boylarında yapılan ayrımlarda şlam miktarı cevherin yapısına bağlı olarak % 10-15 düzeylerine çıkabilmekte, dolayısıyla daha ince tane boylarında yapılan ayrımlarda cevher kaybı genellikle kabul edilebilir sınırların üzerine çıkmaktadır.

Manyetik alınganlığı yüksek mineral içermesine rağmen ince tane boyunda serbestleşmesi dolayısıyla kuru manyetik ayırmanın ekonomik olmadığı cevherler ve oldukça düşük manyetik alınganlıktan nedeniyle kuru manyetik ayırma ile ayrılması mümkün olmayan minerallerin (örn. rutil ve sfen) zenginleştirilme işleminde ise flotasyon kullanılmaktadır (Bayraktar vd., 1997; Çelik vd., 2001). Bu yöntemde de yüksek toplayıcı tüketimine sebep olan ve işlem sırasında oldukça yoğun bir köpük oluşturarak işlemin olumsuz yönde etkileyen -25 um'luk fraksiyonun şlam olarak ayrılması gerekmektedir. Beslemenin tane boyu incelidikçe şlam miktarı artmakta ve yaklaşık 106 Jim'dan ince tane boylarında şlam olarak kaybedilen cevher miktarı % 20'nin üzerine çıkabilmektedir (Gülsoy vd., 2004b). İnce tane boyunda seramik hammaddelerinin kolon ve jet flotasyon yöntemleri ile zenginleştirilmesine yönelik çalışmalar bulunmaktaysa da (Abdel-Khalek, 1999; Kagal ve Güney, 2002), seramik hammaddelerinin zenginleştirilmesinde bu yöntemler henüz tercih edilmemektedir.

Kuru manyetik ayırmanın uygulanmadığı ve şlam olarak önemli oranda cevherin kaybedilmesi nedeniyle flotasyonun uygulanmadığı ince tane boylarında ise genellikle yüksek alan şiddetli (elektromıknatısı ı) matriks tipi yağ manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır. Ancak yüksek yatırım ve işletme maliyetleri nedeniyle bu ekipmanlar son tercih olarak değerlendirilmekte, kimi durumlarda ise cevherin zenginleştirilmesinden vazgeçilmektedir (Gülsoy vd., 2004b). Ayrıca manyetik alanın elektromıknatıslarla oluşturulduğu bu manyetik ayırıcıların, manyetizma sağlayan elektrik bobinlerinin aşın ısınmasına bağlı özel gaz sistemli soğutma gerektirmesi ve yüksek enerji harcaması gibi sebepler de kullanımını oldukça sınırlamaktadır.

Bu nedenlerden dolayı ince tane boylarında, nisbeten düşük kapasitede çalışan manyetik filtrelere (Iannicelli, 1979) ya da elle seramik sır malzemesi içinde mıknatıs dolaştırma işlemlerinin de yerine, etkin ayırım sağlayan, görece düşük yatırım ve işletme maliyeti olan bir manyetik ayırıcı özellikle seramik endüstrisinin ihtiyacı olan hammaddelerin üretilmesinde kullanılabilecektir. En önemli seramik

hammadelerinden birinin kaolin olduğu düşünüldüğünde ince tane boyunda düşük maliyetle etkin ayırım sağlayan bir manyetik ayırıcı hem seramik hem de endüstriyel hammadde üreticilerinin ihtiyacı olan düşük Fe₂O₃ içerikli hammadde üretiminde yararlar sağlayacaktır.

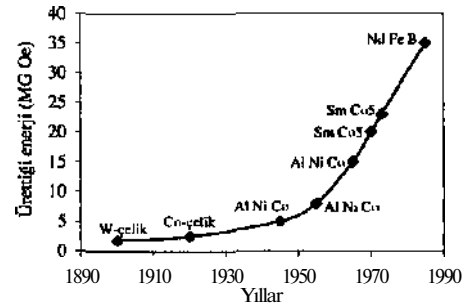
Araştırmalar, gerek seramik ve cam hammaddesi hazırlayan tesislerde gerekse seramik üretimi yapan fabrikalardaki hammadde birimlerinde ince boylarda sürekli çalışan bir ekipmana olan ihtiyacı oldukça yoğun bir şekilde işaret etmektedir. Bu açıdan, gerçekleştirilen çalışma sektöre gerekli önemli bir ekipmanın tasarım parametrelerini tanımlayabilecek bir alt yapı çalışması olarak planlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında kaolinden demir içeren renk verici minerallerin ayrılması amacıyla neodmiyum-demir-bor (Nd-Fe-B) bileşimli kalıcı mıknatısların kullanılabilirliği kesikli bir sistemde araştırılmakta ve sürekli çalışan bir manyetik ayırıcının tesis ölçeğinde kullanılması amacıyla yönelik geniş kapsamlı bir çalışmanın ön çalışmalarına ait sonuçlar verilmektedir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

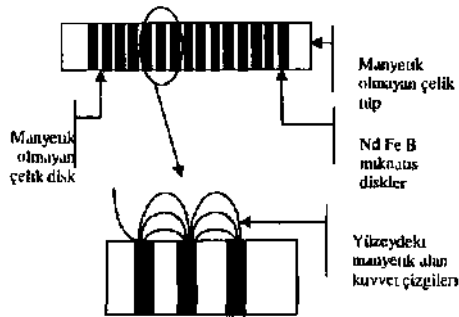
2.1 Çalışmada Kullanılan Mıknatıslar

Manyetik ayırma 19. yüzyılın sonlarından beri bilinmekle beraber kalıcı mıknatısların mineral ayrımlarında kullanılması, yüksek manyetik alan sağlayan mıknatısların geliştirilmesine paralel olarak 1970'lerde başlamıştır (Parker, 1977). Özellikle görece düşük maliyetle, yüksek manyetik alan sağlayan Nd-Fe-B alaşımli mıknatısların geliştirilmesiyle birlikte kalıcı mıknatıslar cevher zenginleştirme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Şekil 1'de kalıcı mıknatısların tarihsel gelişimi verilmektedir.



Şekil 1. Sabit mıknatısların gelişimi (Arvidson, 1990; değiştirilerek alınmıştır.)

Bu çalışmada, boyu 21 cm, çapı 2.6 cm olan Nd-Fe-B alaşımli seramik tüp mıknatıslar kullanılmıştır. Bu mıknatıslar, manyetik olmayan yuvarlak kesitli bir çelik tüp içerisine ard arda yerleştirilmiş disk mıknatıslar ile manyetik olmayan çelik disk diziliminden oluşmaktadır. Her mıknatis ayrı bir manyetik alan yaratmakta ve bu manyetik çubukların yüzeyindeki manyetik alan, çubukların (tüpün) içine yerleştirilmiş olan mıknatis ve çelik disklerin boyutları ve dizilimi ile değişmektedir. Şekil 2'de mıknatis çubukların yüzeyinde oluşan manyetik alan kuvvet çizgilerinin şematik görünümü verilmektedir.

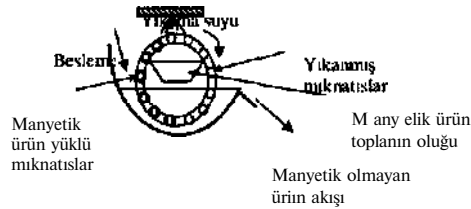


Şekil 2. Deneylerde kullanılan mıknatis çubukların şematik görünümü

Bu lür mıknatıslar endüstride hammadde veya sıralı palpa ile doğrudan temas ettirilerek ortamdan manyetik ianelerin ayrılması amacıyla çok düşük kapasitelerde, kesikli olarak kullanılmaktadır. Nadir toprak elementi alaşımlarından yapılmış bu mıknatıslarla işlenen yüksek alan şiddetlerine ve mıknatis dizilimlerine bağlı olarak da yüksek manyetik alan gradyanlarına ulaşılabilirlerdir.

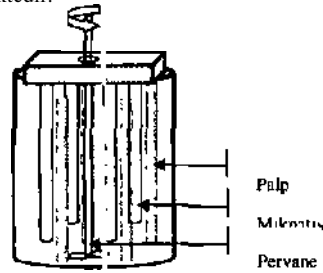
2.2 Deney Düzenegi

Bu çalışmada, Nd-Fe-B mıknatısların yaş manyetik ayırma amacıyla kullanılabilirliğini incelemek amacıyla yönelik, sürekli çalışacak bir sistem için işlem parametrelerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvarında kesikli olarak çalışan bir deney düzenegi hazırlanmıştır. Sürekli çalışan sistemin tasannu konusunda çalışmalar devam etmekle beraber, Öngörülen sistem seramik mıknatısların bir tank içerisine şuyayla girmesi ve palptan çıkan mıknatısların yıkama suyu ile temizlenmesinden oluşmaktadır. Şekil 3'le sürekli çalışacak sistem için önerilen tasarım şematik olarak verilmektedir.



Şekil 3. Tasarının parametreleri incelenen manyetik ayırma düzenegi

Bu çalışmada, Şekil 3'le verilen tasarımda kullanılacak olan Nd-Fe-B mıknatısların çevrelerden manyetik minerallerin uzaklaştırılmasında etkinliği araştırılmış ve sürekli bir sistem için gerekli işlem parametrelerinin laboratuvarında tespit edilmesine yönelik kesikli çalışan bir düzenek hazırlanmıştır. Deney düzeneginin şematik görünümü Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Deney düzeneginin şematik görünümü

Bu kesikli düzenekte, palp silindirik plastik bir kabın içine konulmakta ve hızı ayarlanabilen türbin tipi bir pervanesi olan karıştırıcı ile sürekli karıştırılmaktadır. Mıknatis çubuklar ise, silindirik kabın kenarlarına düşey olarak gelecek şekilde bir çerçeve üzerine yerleştirilmiştir. Mıknatısların yerleştirildiği çerçevenin ortasına bir delik açılarak karıştırıcı pervanesinin sisteme rahatlıkla girip çıkması sağlanmıştır. Ayırım sırasında plastik kap içindeki palp karıştırılırken mıknatıslar bağlı oldukları çerçeve yardımıyla kap içine daldırılmakta, istenilen süre beklendikten sonra palp içinden çıkartılarak üzerlerine yapışan manyetik mineraller yıkılarak ayrı bir kabın içinde toplanmaktadır.

Kullanılacak olan düzenek ince (-50µm) boydaki hammaddelerin manyetik içeriklerinden arındırılması için tasarlanmıştır. İnce boydaki manyetik taneler manyetik alınganlıkları yüksek dahi olsa boyutlarının çok ince olması nedeniyle mıknatıslar tarafından çekildikten sonra basınçlı su

ile yıkanarak mıkknatis yüzeyinden kolaylıkla temizlenebilmektedir. Ayrıca mıkknatis çubukların doğrudan palpm içine daldırılması manyetik tanelerin yakalanma verimini de önemli ölçüde artırmaktadır.

Deneyel çalışmalarda ; V

- Aynı anda işlemde olan mıkknatis sayısı (birim mıkknatis uzunluğu başına etki)
- Katı oranı
- Kinetik davranım amacıyla zamana bağlı davranım,
- Mıkknatislerin doygunluk sınırlarının incelenmesi amacıyla zamana bağlı davranım incelenmiştir.

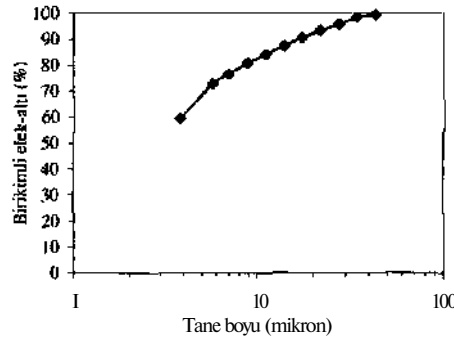
2.3 Deney Numunesi

Bu çalışmada Toprak A.Ş.'den temin edilmiş olan kil (yüksek demir içerikli kaolin) numunesi kullanılmıştır. Numunenin traksiyonel kimyasal analizleri Çizelge 1 'de verilmektedir.

Çizelge 1. Deney numunesi kimyasal analizi

Tane boyu (M m)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	KK (%)
-500+250	2.14	2.04	1.96
-250+180	4.70	3.21	2.92
-180+90	7.83	2.68	3.54
-90+63	12.02	2.76	4.65
-63	27.79	1.89	9.57

Çalışma koşullarına uygun nitelikte ince malzeme hazırlamak amacıyla numune suda dağıtılıp ince boylar dekantasyonla ayrılmıştır. Bu ince kısmın kurutulması ile üst boyu 45 um olan deney numuneleri elde edilmiştir (Şekil 5). Yapılan kimyasal analiz sonunda deney numunesinin Fe₂O₃ içeriği % 1.72 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Deneylerde kullanılan kaolinin Coulter Counter ile elde edilen iane boyu dağılımı.

2.4 Yöntem

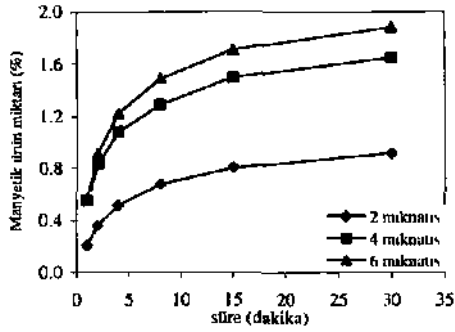
Ayırım işlemine tabi tutulacak olan malzeme bir silindirik kap içine konulmakla üzerine su ilave edilerek istenilen palp yoğunluğu ayarlanmaktadır. Daha sonra karıştırıcı ile malzeme iyice dağılına kadar karıştırılmaktadır. Çalışılan malzeme çok ince ve topaklanmaya müsait olduğundan iyi bir dağılıma sağlamak amacıyla karıştırma sırasında sisteme dağıtıcı olarak sodyum silikat eklemesi de yapılmaktadır. Cevherin su içinde dağıtılmasının ardından mıkknatisler kovanın içine daldırılmaktadır. Mıkknatisler daldırıldıktan sonra karıştırma tekrar başlatılmaktadır. Öngörülen süre sonunda sistem durdurulmakta ve mıkknatisler dışarı alınarak üzerlerindeki manyetik mineraller su ile yıkanarak bir tava içinde toplanmaktadır. Bu işleme çubukların yakaladığı manyetik malzeme miktarı gözle görünür derecede azalana kadar devam edilmiştir. Deneyler sırasında çubukların üzerine yapışan mineraller paramanyetik özelliğe sahip olduğundan pisetle yıkanarak ayrılabilir. Bu da endüstriyel uygulamalarda çubukların rahatlıkla temizlenebileceğini göstermektedir. Cevher içerisinde bulunabilecek ferromanyetik veya yüksek paramanyetik minerallerin sadece yıkama suyu ile uzaklaştırılmasının mümkün olmaması bir kısıt olarak ortaya çıkmaktadır.

Deneyler sırasında, her zaman aralığında alınan numune ve temizleme işlemi sonunda kovada kalan numune kurutulup tartılmakta ve her numunenin demir içerikleri analiz edilmektedir.

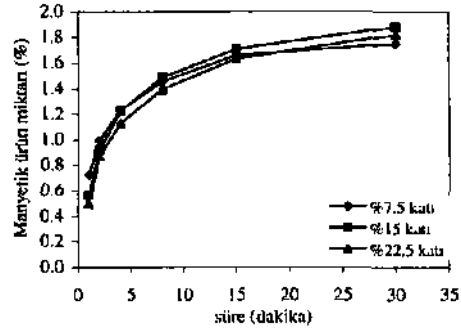
3 DENEY SONUÇLARI

3.1 Mıkknatis sayısının ayırım üzerindeki etkisi

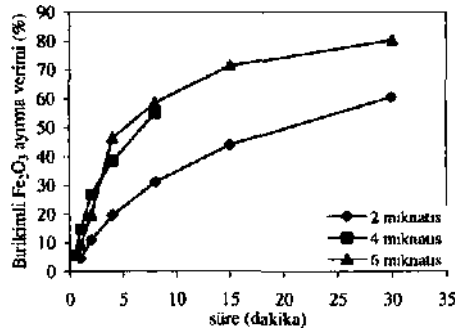
Palp içinde 2, 4 ve 6 adet mıkknatis bulunması durumunda, mıkknatislerin palp içinde kalma süresine bağlı olarak, mıkknatisler tarafından toplanan malzeme miktarı ile birikimli Fe₂O₃ verimi belirlenmiştir. % 15 katı içeriğinde elde edilen sonuçlar Şekil 6 ve 7'de verilmektedir.



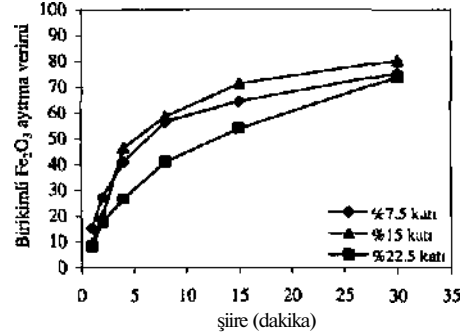
Şekil 6. Mıknatıs sayısı ve bekleme süresinin (birikimli) tutulan kati miktarı üzerine etkisi



Şekil 8. Kati oranının tutulan kati miktarı üzerine etkisi



Şekil 7. Mıknatıs sayısı ve bekleme süresinin Fe₂O₃ verimi üzerine etkisi



Şekil 9. Kati oranının Fe₁O₁ verimi üzerine etkisi

Şekil 6'dan görülebileceği gibi mıknatıs sayısının artması aynı süre sonunda tutulan malzeme miktarını arttırmaktadır. Bununla beraber, mıknatısların palp içinde kalma süresi uzadıkça mıknatıslar tarafından tutulan kati miktarında bir azalma görülmektedir. Bununla beraber Şekil 7, 2 mıknatıs kullanılması durumunda elde edilen F^os veriminin, 4 ve 6 mıknatıs kullanımlarında oldukça yükseldiğini göstermektedir. Ayrıca, 6 mıknatıs kullanıldığında % 80.24 verim ile Fe₂O₃ ayrılmakta ve beslemede % 1.72 olan Fe^oj verimi konsantrede % 0.35'e düşmektedir.

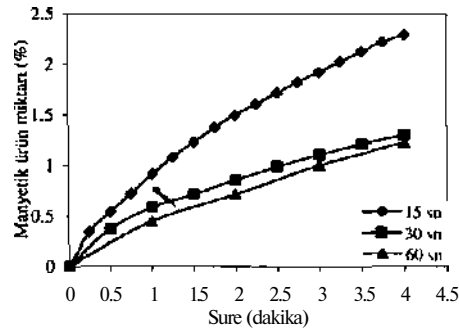
3.2 Kati oranının ayırım üzerindeki etkisi

Deneylerde ağırlıkça %7,5, %15 ve %22 kati içeren palpların ayırım üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu deneylerde mıknatıs sayısı 4 olarak sabit tutulmuştur. Deneylerde mıknatıslar tarafından belirli süreler sonunda yakalanan malzeme miktarı ile birikimli Fe₂O₃ verimleri belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 8 ve 9'da verilmektedir.

Şekil 8'de görüldüğü gibi palp in kati içeriğindeki değişimin aynı süre sonunda mıknatıslar üzerinde yakalanan kati miktarı üzerinde çok büyük bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bununla beraber, Şekil 9'da görüldüğü gibi palpın kati içeriği ağırlıkça %22,5 yükseltildiğinde birikimli Fe₁O₃ kazanımında bir azalmanın olduğu dikkat çekmektedir.

3.3 Mıknatısları palp içinde kalma süresinin ayırım üzerindeki etkisi

Mıknatısların palp içinde kalma süresinin etkisini araştırmak amacıyla gerçekleştirilen deneyler 6 mıknatıs konfigürasyonunda toplam 4 dakika süre boyunca, birinci deneyde mıknatıslar palp içinde 15'er sn, İkinci deneyde 30*ar sn ve üçüncü deneyde ise 60*ar sn aralıklarla bekletilerek yapılmıştır. Mıknatısların belirtilen süreler sonunda topladıkları manyetik malzemeler ayrı kablann içine yığılarak kurutulmuştur. Buna göre mıknatıslar tarafından yakalanan kati miktarı birikimli olarak Şekil 10'da verilmektedir.



Şekil 10. Mıknatısların palp içinde bekleme süresinin katı kazanımına etkisi

Şekil 10'da görüldüğü gibi, mıknatısların palp içinde uzun süre bekletilmeleri mıknatıslar tarafından toplanan katı miktarının düşük değerlerde kalmasına neden olmaktadır. Mıknatısların palpm içine kısa süreli daldırılıp çıkartıldıktan sonra temizlenip tekrar palpa daldırılması birikimli olarak yakalanan katı miktarını önemli ölçüde artırmaktadır. Buna göre, mıknatısların palpm içinde uzun kalması değil, sık sık temizlenerek yeniden ayırma işlemine sokulması gerektiği açık olarak görülmektedir.

4 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ

DeneySEL çalışmanın yürütüldüğü kesikli düzenek göz önüne alındığında, palp ile temasta bulunan mıknatıs sayısındaki artışa bağlı olarak birim zamanda sistemden uzaklaştırılan manyetik mineral miktarı artmaktadır. %15 katı içeren palp için, sistemde kullanılan mıknatıs sayısı 2 olduğunda birim mıknatıs uzunluğu başına tutulan katı miktarı 0.046 g/cm, 4 mıknatıs kullanıldığında 0.041 g/cm ve 6 mıknatıs kullanıldığında 0.031 g/cm olmaktadır. Bu durumda sistemde kullanılan mıknatıs sayısı arttığında birim mıknatıs uzunluğu başına yakalanan manyetik mineral miktarının azaldığını söylemek mümkündür. Fakat, toplamda daha fazla mıknatıs kullanıldığı için toplam yakalanan katı miktarı daha fazla olmakta, ayrıca birim uzunluk başına yakalanan katı miktarı da azaldığı için mıknatısların yakalama verimleri artmaktadır. Bu durumda, sistemde palpla birim zamanda temas halinde bulunan mıknatıs yüzeyinin mümkün olduğunca fazla tutulmasını sağlayacak bir tasarıma ihtiyaç vardır. Bu amaçla hem mıknatıs sayısı hem de mıknatıs boy ve çapları değiştirilebilir.

Mıknatısların palp içinde uzun süre kaldıklarında düşük olan verim, mıknatısların kısa periyotlarla palp içerisine girmeleri durumunda yükselmektedir. Ayrıca aynı süre sonunda birikimli olarak toplanan manyetik ürün miktarı da artmaktadır. Bu nedenle mıknatısların palp ile mümkün olduğu kadar kısa süreli temas etmesi sağlanmalı ve manyetik minerallerle yüklenen mıknatıslar bir an önce palptan çıkartılarak topladıkları manyetik ürünler üzerlerinden yıkanarak uzaklaştırılmalıdır. Bu da, sürekli sistemde çalıştırılacak tamburda, dönüş hızının yüksek tutulmasını gerektirmektedir.

Besleme katı içeriği çok yüksek olduğunda mıknatısların taşıma kapasitesi hızlı bir şekilde aşmakta ve sistemden manyetik ürün uzaklaştırma verimi düşmektedir. Bu çalışmada incelenen katı içeriği aralığında en yüksek verime ağırlıkça % 15 katı içeriğinde ulaşılmıştır. Katı içeriği yüksek olduğunda mıknatıslar tarafından tutulan paramanyetik taneler, karıştırmanın da etkisi ile yüzeyden koparılmakta, bu da verimin düşmesine yol açmaktadır.

Bununla beraber, ferromanyetik veya kuvvetli paramanyetik minerallerin mıknatıs yüzeyinden ayrılmasının, sadece yıkama suyu ile çok zor veya imkansız olması, bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, dış etkilerden korunmasını sağlamak amacıyla tüp mıknatısların kaplandığı ince film tabakasının sürekli sistemde palp tarafından aşındırılarak mıknatısların zarar görebileceği öngörülmektedir. İleriki çalışmalara bu sorunların aşılmasına yönelik bir tasarımın geliştirilmesi yönünde devam edilecektir.

5 KAYNAKLAR

- Abdel-Khalek, N.A., 1999; The Egyptian kaolin: an outlook in the view of the new climate of investment. *Applied Clay Science*, 15, 325-336.
- Arvidson, B. 1990; Recent developments in dry high intensity magnetic separation, *Australian IMM 1990 Annual Conference*, March.
- Bayraktar, I., Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., 1997; Upgrading titanium bearing Na-teldspar by flotation using sulphonates, succinamates and soaps of vegetable oils. *Minerals Engineering*, 1, 12, 1363-1374.
- Bayraktar, I., Gülsoy, Ö.Y., Can, N.M., Orhan, B.C., 2001; Feldispatların Zenginleştirilmesi, *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, H. Köse vd. (Ed). 97-105. izmir.
- Çelik, M.S., Pehlivanoglu, B., Aslanbaş, A., Asmatülü, R., 2001; Flotation of colored impurities from feldspar ores. *Minerals & Metallurgical Processing*, 18, 2, 101-105-
- Gülsoy, Ö.Y., Orhan, E.C., Can, N.M., Bayraktar, I., 2004a; Manyetik ayırma ve flotasyonla magmatik ve

- metamorfik kayalardan feldispat üretimi, *Yerlmleri*, 30. 49-bl.
- Gilsoy, Ö.Y., Orhan, E.C., Can, N.M., 2004b; Bursa-Orhaneli siyenillerinden feldispat üretimi. *Madencilik*, 43,4.17-28.
- Iannicelli, J., 1979; New developments in high extraction magnetic filtration of kaolin clay. *Proc. 13th Int. Min. Proc Congress, Benefitarion of Clay M i ne mix*, Warsaw, p105.
- Kangal, O., Güney, A., 2002; Beneficiation of low-grade feldspars using free jet flotation. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 23, 129-140.
- Parker, M.R., 1977; The physics, of magnetic separation, *Coniemprory Physics*, 18. 3, 279-306.

Seyitömer Killerinin Çökeltme Davranışları

B.Öteyaka, A.Yamık, A.Uçar, O.Şahbaz & B.Yılmaz
Dumıupmar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye

ÖZET: SLİ linyitlerinin yıkanabilirliğinin araştırılması ile ilgili araştırmada, ortaya çıkarı artıttaki killerin çökeltme davranışları incelenmiştir. Çalışmada farklı tipte ve miktarlarda anyonik, katyonik ve iyonik olmayan flokülantlar ile koagülantlar kullanılmıştır. En etkili flokülant tipinin anyonik yapıdaki Hidroflocc 7170 ve miktarının da 13 gr/ton olduğu belirlenmiştir. Farklı katı oranlarında olabilecek pülplerdeki katıların sıcaklık değişimlerinden etkilenmeksizin en hızlı şekilde çökeltilebilir için çeşitli koagülantlar denenmiş ve en iyi çökeltme hızını 6.4×10^{-3} M konsantrasyonunda CaO ile elde edildiği saptanmıştır.

ABSTRACT: In this research washability characteristic of SLİ lignites, precipitation characteristic of clays occurring in wastes have been investigated. In the study, different quantity and type of anionic, cationic and non-ionic flocculants and coagulants have been used. The most effective flocculant type was determined as Hidroflocc 7170 in the amount of 13 gr/t. To obtain the fastest precipitation, various coagulants have been tested and CaO was found to be the best with 6.4×10^{-3} concentration has supplied suitable precipitation velocity.

1. GİRİŞ

Cevher hazırlama ve diğer endüstriyel tesislerin en büyük sorunlarından biri de proses sonrası ortaya çıkan ve süspansiyon halinde ince tanecikler içeren artıklardır. Taze su ihtiyacını azaltmak ve oluşacak çevre sorunlarını gidermek amacıyla tesislerin çoğu artıklarından ince katı tanecikleri ayıracak ek ilave tesisler yapmışlardır. Bu tesislerde taneciklerin boyutuna bağlı olarak farklı yöntem ve aletlerle katı-sıvı ayırımı yapılmaktadır.

İnce taneli, özellikle 50 mikron altı katı taneciklerin katı-sıvı ayırımında yüksek çökeltme hızı ve dolayısıyla yüksek katı oranı elde etme açısından normal sedimentasyon yöntemleri istenilen başarıyı göstermemektedir. Bunun nedenleri ise, % katı oranı, iane şekli, yüzey özellikleri ve yoğunluk gibi katının özellikleri ile sıvının viskozitesi ve yoğunluğudur (Svarovsky, 1981; Mpofo, 2005). Böyle sorunların çözümünde koagülasyon ve flokülasyon başarı ile kullanılabilir. Bu, cevher hazırlama, kağıt üretimi ve su temizleme gibi birçok endüstriyel prosesin önemli bir parçasını oluşturmaktadır

(Aixing, 2000; Bajza, 2005; Hogg, 2000; Mpofo, 2005; Pearse, 2001 ve 2005. Sabah, 2004).

Flokülasyonda organik reaktiflerden yaygın olarak polielektrolitler (polyerolomide) kullanılır. Polielektrolitlerin özellikleri; Poliakrilamid zinciri katyonik ve anyonik fonksiyonel gruplu mono-minerallikten mu İti-mineral I iğe kadar pü İpi erde etkilidir. Düşük ve yüksek katı oranları ve pH'larda kullanılabilir. 5 den 25 milyona kadar molekül ağırlığına sahiptir. Berrak laştırıcı lar, tikinerler, filtreler ve bütün tip santrifüjler gibi bütün katı-sıvı ayırımı ekipmanlarında başarıyla uygulanabilirler (Pearse, 2005).

Genel olarak flokülantların molekül ağırlıkları arttıkça, flokülasyon kabiliyetleri de artmaktadır. Daha yüksek molekül ağırlıklı flokülantlar, aynı anda bir çok partikül yüzeyine adsorbe olarak üç boyutlu bir matris meydana getirebilirler (İpekoğlu, 1997).

Pol i elektrolit kombinasyonların flokülant olarak endüstrilerde kullanımı giderek artmasına rağmen, kompleks proseslerin iyi olarak anlaşılması halen sağlanamamıştır. Örneğin flokülasyon prosesinde polimer uyumu ve polimerin moleküler ağırlığının

etkisi alumina parçacıkları ile yapılan çift polimer floku lasyon çalışmalarında sadece polimer adsorpsiyonu, solüsyon viskozitesi ve zeta potansiyel değil polimer sarılım indeksinin de önemli bir parametre olduğu belirtilmiştir. Bütün çalışmalara göre İki etkiden söz edilebilir. Birincisi düşük moleküler ağırlıklı polielektrolitlerin yüksek karışıt yükü ile yüksek adsorpsiyon ve ikincisi flokülasyonun başarısı için aynı yükte, yüksek moleküler ağırlıklı polimerlerin köprü etkisidir (Aixing, 2000).

Katı-sıvı ayırım proseslerinde polielektrolitlerin fonksiyonu, süspansiyondaki partiküller arası elektro-kinetik uzaklaştırıcı kuvvetlerden birisi parçacıklar üzerindeki yüzey yükünü direkt azaltmayla hidrofobik kolloidal koagülasyonu artıran nötralizasyon yükü, diğeri ise solüsyondaki iki veya daha çok parçacık yüzeyinde birbirine ağla bağlı polielektrolit adsorpsiyonu olarak tanımlanan köprüdür.

Koagülasyon da ise en yaygın olarak kullanılan koagulanlar alüminyum (III) ve demir (III) tuzlarıdır. Bunların suda çözünmesiyle oluşan Al^{3+} ve Fe^{3+} gibi yüksek değerlikli iyonların negatif yüzey yüklü parçacıklar üzerindeki etkisi fazladır ve tane yüzeyindeki net negatif yükü net pozitif yüke dönüştürürler. Alüminyum tuzunun en etkili olduğu optimum dozaj 60 mg/dm³ civarındadır. Koagülasyon olayında koagülasyonun etkisi, taneçiklerin yüzey yüküne zıt yüklü iyon değerliği ile belirlenir. Koagülasyon ve flokülasyonda zeta potansiyelde önemli bir parametredir ve tanelerin bir araya gelmesi için ianelerin zeta potansiyeli, ortama iyon ilavesiyle düşürülmelidir (yaklaşık +25 mV ve -25 mV arası). Bu nedenle uygun koagülant ve flokülant miktarı belirlenmelidir. Koagülant olarak kullanılan bazı katyon (Na^{+} , K^{+}) ve anyonlar (Cl^{-} , SO_4^{-}), pH:1-14 arasında hidroliz olmazlar. Bazıları ise pH'a bağlı olarak hidroliz olurlar. Örneğin; Alüminyum, demir, silis, magnezyum ve kalsiyum iyonları gibi, bu nedenle de sınırlı çözünebilirler. pH ile değişen yük, çökeltme proseslerini büyük oranda etkileyebilir (Hughes, 1981).

Doğal killer genellikle negatif yüzey yüküdür. Bu yüzey yükünden dolayı, su içindeki parçacıklar genellikle kolloidal stabildirler ve birleşmeye dirençlidirler. Bu nedenle pozitif yüklü koagulanlar parçacıkların slabilitesini bozmak için gereklidirler. Kolloidal stabilizinin klasik iddiasına göre, stabilizasyon bozulması; iyonik kuvvetlerdeki artış ile zeta potansiyelde biraz azalma olması ve elektriksel çift tabakadaki difüzyon tabakasının kalınlığının azalması ile parça yükünün

nötralleşmesi için karşı iyonların spesifik adsorpsiyonu nedeniyledir (Bajza, 2005).

Katı-sıvı ayırımı, cevher ve kömür hazırlama tesislerinde konsantre-arlık işlemlerinde önemli ve tamamlayıcı proseslerdir. Susuzlaştırma prosesleri; farklı boyutlarda, şekillerde ve özgül ağırlıklarda kolloidal parçacıkla ve değişik davranışlardan dolayı genellikle bazı problemler içerir. Susuzlaştırma proseslerinin temel amacı düşük katı içerikli temiz su elde etmek ve çevre sağlığı açısından oluşabilecek sorunları ortadan kaldırmaktır. Bu çalışmanın da amacı, kül ve kalori değeri düşük olan SLİ linyitlerinin kalitesini artırmak için kurulacak olan kömür yıkama tesisinden çıkabilecek atıklardaki killerin çökeltme davranışlarının incelemesidir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Deneysel çalışmalarda, Seyilömer Linyit İşletmesi (SLİ) kömür yatağında bulunan ve kömürle beraber kazılan ara kesme killeri kullanılmıştır. B1 ve B2 damarları aynaları boyunca kepçeyle alınan kömür numunesi, içerdiği killere beraber laboratuara getirilmiştir. 5 mm açıklıktı tromel elek altı alınarak 0,5 mm'lik elekten geçirilmiş ve bu elek altı ürün çöktürme deneylerinde kullanılmıştır. Kil numunesinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1 'de, yapılan yaş elek analizi sonucunda elde edilen boyut dağılımı ise Çizelge 2*'de görülmektedir.

Çizelge 1. Kil numunesinin kimyasal analizi

Bileşen	NapO	K ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
Miktar, %	6,2	2,49	1,64	0,83	15,17	66,1	5,08

Çizelge 2. Kil numunesinin elek analizi

Elek Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	Nem (%)	Kül
-0,5+0,2	37,42	21,5	69,21
-0,2+0,1	9,82	17,61	71,35
-0,1+0,09	19,96	16,24	71,6
-0,09+0,075	4,33	21,44	76,28
-0,075	28,47	7	81
Toplam	100,00		

Çizelge 1'de görüldüğü gibi numunenin silis içeriği yüksek olup, CaO ve MgO İçerikleri ise düşüktür. Ayrıca, Fe²⁺/O₂ oranı da yüksektir.

Flokülasyon deneylerinde Cyanamid firması ürünü olan anyonik A 100, A 150, Hidrofloc (HF) 7170, katyonik C 491, C 492 ve iyonik olmayan N

100 ve N 300 tip polimerler ile $CaCO_3$, CaO , $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, $NaCl$ ve $CaCl_2$ koagülant olarak kullanılmıştır. pH ise NaOH ve HCl ile ayarlanmıştır.

Flokülasyon deneylerinde yüksekliği 32 cm olan bir litrelik mezür kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Deneylerde, katı halde bulunan flokülantlar tamamen çözününceye kadar karıştırılarak %0,1 stok çözeltisi olarak hazırlanmış ve seyreltilerek kullanılmıştır. Koagülantlar ise karıştırılarak çözülmüş ve %20'lik stok çözelti olarak hazırlanarak gerekli konsantrasyonlara ayarlanarak kullanılmışlardır.

Çökeltme deneyleri için; belirli katı oranındaki numune mezüre konarak birkaç defa ters çevrilerek homojen bir karışım elde edilmiştir. Daha sonra değişik miktarlarda reaktifler eklenerek lekrar mezür 3-4 defa ters çevrilerek iyi bir karışımın ve dolayısıyla tane reaktif temasının olması sağlanmıştır. Bu işlemlerden sonra, ara yüzey yüksekliğinin zamana bağlı olarak değişimi, belirli zaman aralıklarında kaydedilmiştir.

3 DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

3.1. Değişik Sıcaklıklarda Flokülant Cinsinin Belirlenmesi

Flokülantlar, sıcaklığa bağlı olarak daha çok aktifleşirler. Böylece, taneleri bir araya getirerek çökeltme hızını etkilerler. Bu nedenle, en etkin çökeltmeyi, sıcaklık artışına bağlı olarak veren flokülant cinsini tesbit etmek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları Şekil 1, 2 ve 3'de verilmiştir.

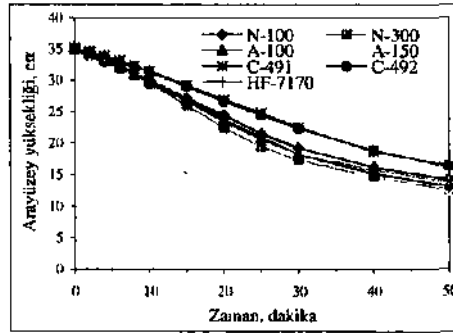
Değişik flokülantlarla 10, 18 ve 26 °C sıcaklıklarında, %10 katı oranında, 10 gr/ton flokülant miktarında ve pH=8'de (doğal pH) yapılan deneyler sonucunda;

Sıcaklığa bağlı olarak çökeltmede, flokülantların daha etkin olduğu ve çökeltme hızını arttırdıkları görülmektedir.

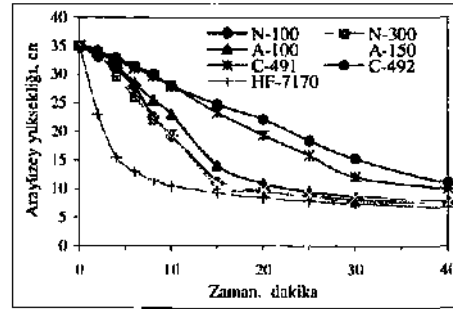
10 °C sıcaklıkla A-150 daha iyi çökeltme hızı verirken, 18 °C ve 25 °C sıcaklıklarında en iyi sonuçları HF-7170 ve A-150 vermiştir. Ayrıca, anyonik flokülantlarla daha iyi çökeltme hızları elde edilirken katyonikler düşük çökeltme hızları vermişlerdir.

Yaz ve kış aylarındaki sıcaklıklar düşünülürse, yazın sıcaklık (18-20 °C) koşullarında uygun çökeltme hızları elde edilebilir. Fakat kışın düşük

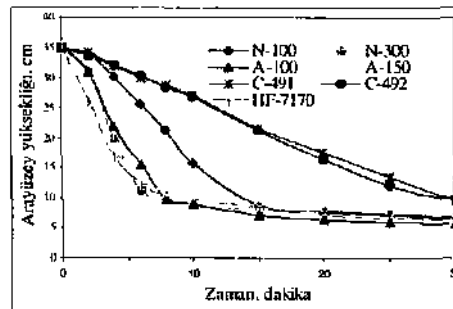
sıcaklıklarda 10 °C'nin altında uygun çökeltme hızları elde edilememiştir.



Şekil 1. Farklı tipteki polimerlerin 10 °C'de çökeltmeye etkisi



Şekil 2. Farklı tipteki polimerlerin 18 °C'de çökeltmeye etkisi



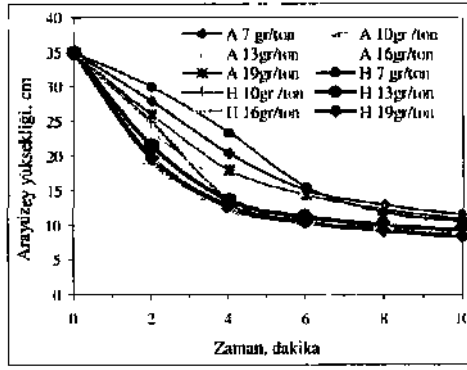
Şekil 3. Farklı tipteki polimerlerin 25 °C'de çökeltmeye etkisi

3.2. HF-7170 ve A-İSO Flokülant Miktarlarının Belirlenmesi

Flokuant miktarları da çökelme hızını etkileyen parametrelerdendir. Genellikle reaktifler pahalı olduğundan, mümkün olduğu kadar az ve uygun miktarın belirlenmesi önemlidir.

En iyi flokülant miktarını bulmak için değişik miktarda flokülantlarla 18 °C sıcaklıkta, %10 katı oranında ve pH=8'de (doğal pH) yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar şekil 4'de görülmektedir.

Şekilde görüldüğü gibi HF-7170 ile daha iyi çökelme hızları elde edilmiştir. HF-7170 miktarındaki artışa bağlı olarak çökelme hızının arttığı, fakat 16 ve 19 gr/ton flokülant miktarlarının hemen hemen aynı çökelme hızlarını verdiği, aynı zamanda 13 gr/ton miktarda ise çökelme hızının bu değerlere yaklaştığı tespit edilmiştir. Bu nedenle bu miktar, ekonomiklik açısından uygundur.



Şekil 4. Polymer miktarının çökelmeye etkisi

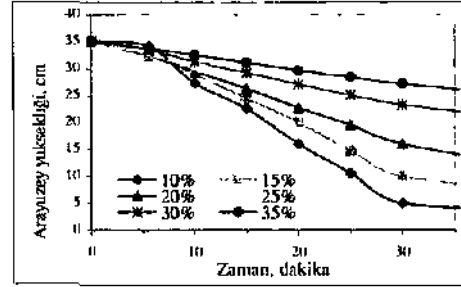
3.3. Pülp Katı Oranının Çökelme Hızına Etkisi

Pülp katı oranının çökelme hızına etkisini saptamak için değişik katı oranlarında polimerless ve polimerli olarak deneyler yapılmıştır.

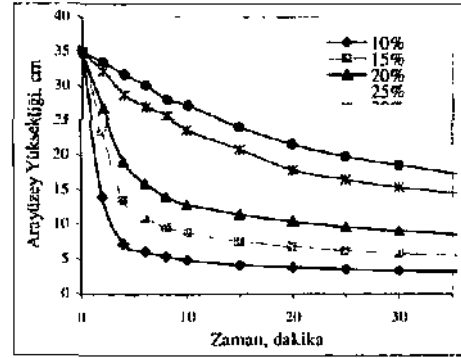
Değişik katı oranlarında 18 °C sıcaklıkta ve H=8'de flokülantsız olarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar şekil 5'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, katı oranı düşüldükçe çökelme hızı artmakta, fakat yine de en düşük katı oranında dahi çökelme hızı istenilen değerlerin altındadır. Yani, hangi katı oranı olursa olsun flokülant kullanılmadan elde edilen çökelme hızları uygun olmamaktadır. Çökelme hızı, %10 katı

oranında 0,81 cm/dakika İken %15 katı oranında 0,69'a düşmüştür.

Aynı şartlarda 13 gr/ton HF-7170 kullanılmasıyla katı oranı düşüldükçe serbest çökelme nedeniyle, çökelme hızı oldukça artmıştır (Şekil 6). Çökelme hızı, %10 katı oranında 11,53 cm/dakika İken %15 katı oranında 5,77'ye düşmüştür.



Şekil 5. Polimerless olarak pülp katı oranının çökelmeye etkisi

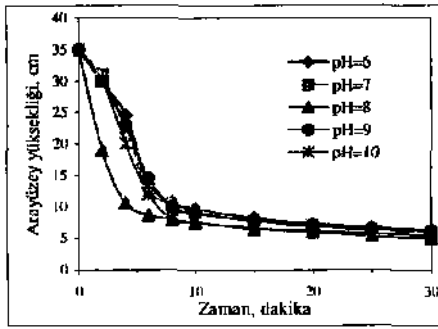


Şekil 6. Polimerli olarak pülp katı oranının çökelmeye etkisi

3.4. pH Değişiminin Çökelme Hızına Etkisi

Çökelme hızını etkileyen önemli parametrelerden biri de pH'dır. Burada önemli olan, doğal pH'da kısa sürede maksimum çökelme hızını elde etmektir. pH değerinin çökelme hızına etkisini belirlemek için değişik pH değerlerinde 13 gr/ton HF-7170, 18 °C sıcaklık ve %10 katı oranında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar şekil 7'de görülmektedir.

Şekilde görüldüğü gibi en hızlı çökeltme pH=8 (doğal pH)'de elde edilmiştir.



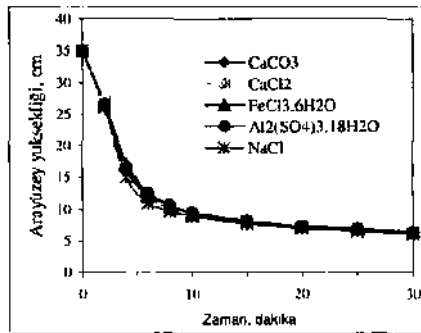
Şekil 7. pH değişiminin çökeltme hızına etkisi

3.5. Koagülant Cins ve Konsantrasyonunun Çökeltme Hızına Etkisi

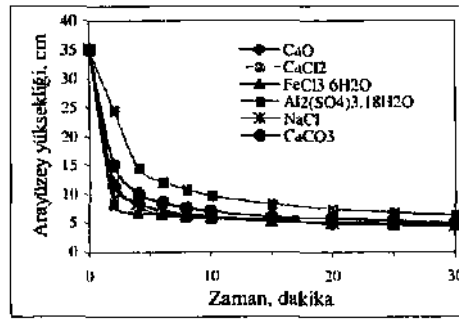
Fİ oku lantlarla çok kısa sürelerde (2 dakika) istenilen yüksek çökeltme hızlarına ulaşamadığı için, koagülantların çökeltmeye olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, kullanılan koagülantların cinsi kadar miktarları da çok önemlidir.

Koagülant cinslerinin ve konsantrasyonlarının çökeltmeye etkilerini bulmak için flokülantlı ve flokülantsız olarak deneyler yapılmıştır.

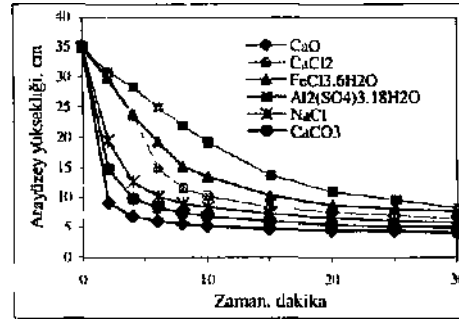
1.Oxlf⁺, 4.0x10⁻²*, 1.6x10⁻³\ 6.4X10⁻⁴ ve 2.56x10⁻⁵ M konsantrasyonlarında, 13 gr/ton HF-7170. 18 °C sıcaklık, %10 katı oranı ve pH=8'de yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 8, 9, 10, II ve I2*de verilmiştir.



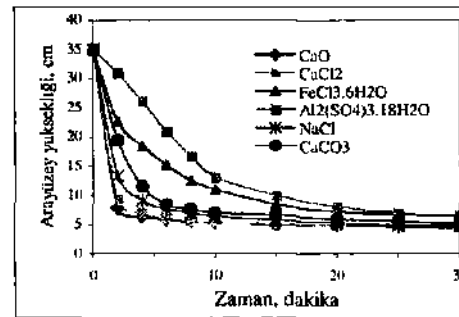
Şekil 8. 10⁻⁴ M koagülant konsantrasyonunun çökeltmeye etkisi



Şekil 9.4.0x10⁻³ M koagülant konsantrasyonunun çökeltmeye etkisi

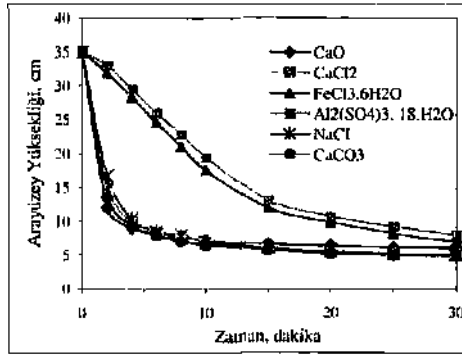


Şekil 10. 1.6x10⁻³ M koagülant konsantrasyonunun çökeltmeye etkisi



Şekil 11. 6.4x10⁻⁴ M koagülant konsantrasyonunun çökeltmeye etkisi

Şekil 9'dan görüldüğü gibi 1.0x 1(T M koagülant konsantrasyonunda çökeltme hızında önemli bir değişiklik olmamıştır .



Şekil 12. 2.56×10^{-4} M koagülant konsantrasyonunun çökelmeye etkisi

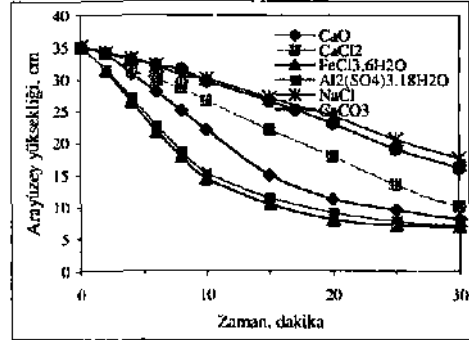
Konsantrasyondaki artışa bağlı olarak $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 4.0×10^{-4} M'da yüksek çökeltme hızı vermesine rağmen daha sonraki değerlerde bu hız oldukça düşmüştür. Bu nedenle Fe^{3+} iyonlarının parça yüzeyine adsorplanarak, konsantrasyon artışına bağlı olarak yüzey yükünü negatiften pozitifte değiştirdiği söylenebilir. Negatif ve pozitif yüklerin fazla olduğu konsantrasyonlarda süspansiyon kararlılığı artmaktadır.

$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ise yine 4.0×10^{-4} M konsantrasyona kadar çökeltme hızını azda olsa artırmış, daha sonra ise oldukça azaltmıştır. Bunun nedeni ise Bajza (2005)'ya göre, Al^{3+} iyonları doğal pH civarında özellikle koloidal çökeltme durumunda yüzey yüklerini pozitif yaptığundan koloidal stabildir. pH yükseldiğinde (IEP'de artar) stabilite azalır, parçacıklar geniş oranda birleşir ve kütleli olarak çökerler.

$CaCl_2$, $CaCO_3$ ve $NaCl$ çökeltme hızını hemen hemen aynı oranda etkilemişler, yani çökeltme hızında fazla bir değişiklik meydana getirmemişlerdir. CaO ise çökeltme hızını 6.4×10^{-3} M konsantrasyonuna kadar artırmış daha sonra ise azaltmıştır. Buna göre 4×10^{-4} M konsantrasyonda $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ tercih edilebilir. Fakat ekonomiklik göz önüne alındığında, daha ucuz olan CaO 6.4×10^{-4} M konsantrasyonunda yüksek çökeltme sonuçları verdiği için, bu konsantrasyonda uygun koagülant olarak kullanılabilir (Şekil 8, 9, 10, 11 ve 12).

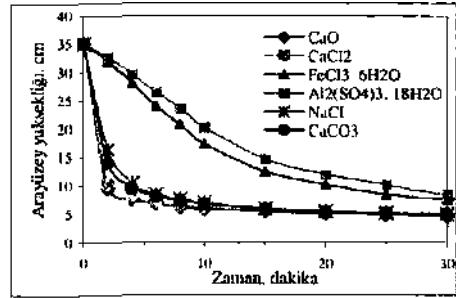
Aynı şartlarda flokülantsız olarak 6.4×10^{-4} M koagülant konsantrasyonunda yapılan deney sonuçları Şekil 13'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi flokülant olmadan kısa sürede istenilen çökeltme hızı değerleri elde edilememiştir. Çökeltme hızına iyon etkisi ise $Fe^{3+} > Al^{3+} > Ca^{2+} > Na^+$ şeklinde olmuştur. Flokülant kullanılarak yapılan deneylerde ise 4.0×10^{-4} M konsantrasyonda

$Fe^{3+} > Ca^{2+} = Na^+ > Al^{3+}$ iken daha sonraki konsantrasyonlarda $Ca^{2+} > Na^+ > Fe^{3+} > Al^{3+}$ şeklindedir. Buna göre flokülantın iyon etkisini tersine çevirdiği söylenebilir. CaO ve $CaCO_3$ 'ün kullanıldığı konsantrasyonlarda Ca^{2+} iyonlarının yanında OH^- iyonlarının etkisinin de göz önünde tutulması gerekir.



Şekil 13. Flokülantsız 6.4×10^{-4} M koagülant konsantrasyonunun çökelmeye etkisi

$10^\circ C$ sıcaklıkta, 13 gr/ton HF-7170 miktarında. %10 katı oranında ve 6.4×10^{-3} M koagülant konsantrasyonunda yapılan deney sonuçlarına göre, düşük sıcaklıklarda da çökeltme hızı artarak yüksek sıcaklıklarda elde edilen değerlere yaklaşmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. $10^\circ C$ sıcaklıkta 6.4×10^{-4} M koagülant konsantrasyonunun çökelmeye etkisi

Değişik sıcaklık ve katı oranlarının çökeltme hızına etkisini saptamak için aşağıdaki şartlara göre yapılan deney sonuçları Şekil 15'de görülmektedir.

Deney şartları;

Flokülant miktarı ve cinsi: 13gr/ton HF-7170

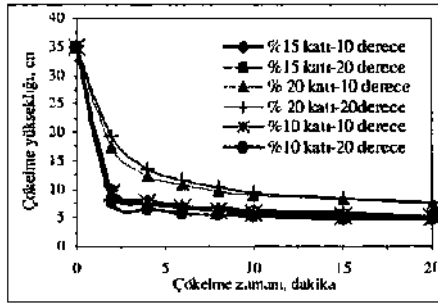
Sıcaklık: $10^\circ C$ ve $18^\circ C$

Katı oranı: %15 ve %20

pH:8

Koagülant miktarı ve cinsi: 6.4×10^{-4} M CaO

Şekil 15'ten sıcaklık değişiminin serbest çökeltme şartlarında, çökeltme hızında önemli bir değişiklik meydana getirmediği görülmektedir. Bu duruma göre çökeltme hızı 15 m/dakika olarak tespit edilmiştir.



Şekil 15. Değişik sıcaklık ve katı oranlarında 6.4×10^{-4} M CaO konsantrasyonunun çökeltmeye etkisi

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

SLİ kömürlerinde bulunan killerin, katı-sıvı ayrımının en etkili şekilde yapılabilmesi için optimum şartlar aşağıda verilmiştir.

Flokülanl cinsi : HF-7170
Flokülanl miktarı : 13gr/10n
Sıcaklık : Değişebilir
Katı oranı : %10 (değişebilir)
pH : 8 (doğal pH)
Koagülant cinsi : CaO
Koagülant miktarı: 6.4×10^{-4} M

Yapılan deneyler sonucunda;

- Doğal pH'larda anyonik flokülantların daha iyi çökeltme oluşturduğu,
- Çökeltme hızının serbest çökeltme koşullarında, 0,81 cm/dakikadan 15 cm/dakikaya arttığı,
- Sıcaklık arttıkça çökeltme hızının da arttığı, fakat düşük sıcaklıklarda koagülant olarak CaO kullanılmasıyla aynı çökeltme hızlarına yaklaşıldığı, aynı zamanda serbest çökeltme şartlarında katı konsantrasyonunun etkisinin de daha az olduğu,
- Flokülant kullanmadan koagülant iyon etkisinin $Fe^{+++} > Al^{+++} > Ca^{++} > Na^+$ şeklinden 6.4×10^{-4} M flokülant kullanımıyla $Ca^{*+} > Na^* > Fe^{*+} > Ar^{*+}$ şekline dönüştüğü tespit edilmiştir.

- Ayrıca, çökeltme hızındaki artışla daha küçük alanlı tikiner tasarlanacağı için maliyetlerde azalmış olacaktır.
 - Çökeltme sonucu elde edilen berrak su, tesisin su ihtiyacı için kullanılabilir.
- Öneriler;
- Bu veriler ışığında uygun tikiner tasarımı yapılabilir.
 - Killerin yüzey yükünü tespit etmek için zeta potansiyel ölçümü yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Aixing, F., Turro. N.J. ve Somasonduran. P., 2000, A study of dual polymer flocculation, colloids and surfaces, Vol. 162, Issue 1-3, pp. 141-148. Columbia University, New York, USA.
- Bajza, Z., Hitrec, P. ve Muzic, M., 2005. Influence of different concentrations of Al:(S0,b and anionic polyelectrolytes on tannery wastewater flocculation, Desalination, 171, pp 13-21.
- Hogg, R., 2000. Flocculation and dewatering. International Journal of Mineral Processing, Vol.58, Issue 1-4, pp.223-236.
- Hughes, M.A., 1981, Coagulation and Flocculation, Solid-Liquid Separation- Second edition. Ed. LttisUi Svarovsky, pp. 65-84.
- İpekoğlu, Ü., 1997, S usuz! andırma (Katı-Sıvı Ayrımı) ve Yöntemleri, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 179, İzmir.
- Mpofu.P., Mensah. J.A. ve Ralston. J., 2003, Investigation of the effect of the polymer structure type on flocculation. rheology and dewatering behaviour of kaolinile dispersions. International Journal of Mineral Processing, Vol.71, pp. 247-268.
- Pearse. M.J., Weir, S. Adkins. S.J ve Moody, G.M., 2001. Advanced in mineral processing, Minerals Engineering, Vol.14, No II, pp 1505-1511.
- Pearse, M.J., 2005, An overview of the use of chemical reagents in mineral processing. Minerals Engineering, Article in Press.
- Sabah, E., Yüzer, H. ve Çelik, M.S.. 2004, Characterization and dewatering of fine coal tailings by dual-flocculant systems, bitematiaaial Journal of Mineral Processing, 303-315.
- Svarovsky, L., 1981, Characterization of Particles Suspended in Liquids, Solid-Liquid Separation- Second edition, Ed. Ladiila Svarovsky, pp, 8-32.

Farklı Türdeki Türk Kömürlerinin Kömür-Su Teknolojisinde Viskozite Özellikleri

F. Boylu, G. Ateşok & M. Özer

Istanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü. 34469. Maslak-İstanbul

ÖZET: Yapılan çalışma çerçevesinde; Zonguldak bitümlü kömürü. Soma yan bitümlü kömürü ve İstanbul-Yeniköy linyit kömürleri ile hazırlanan kömür-su karışımlarının (KSK) viskozite özellikleri incelenmiştir. Polimerik yapıda Sodyum Polistiren Sülfonat'ın (PSS) dispersan olarak kullanıldığı çalışmalarda; dispersan konsantrasyonu, ortam pH'sı, pülp'te katı oranı ve kömür tane boyutunun viskozite üzerinde etkileri incelenmiştir.

ABSTRACT: In this study, the viscosity properties of Coal-Water slurries (CWS) prepared from Zonguldak bitumions, Soma sub-bitumious and İstanbul lignite coals were determined. Sodium Polystyrene Sulphonate (PSS) was used as a dispersant agent in the experiments that the effect of dispersant concentration, pH, pulp density and coal particle size were investigated.

1 GİRİŞ

Bugün için dünya enerji gereksiniminin 2003 yılı itibariyle yaklaşık % 90'ı fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Enerji konusunda etkin olan çeşitli uluslararası kuruluşların çalışmalarına göre de en azından önümüzdeki 20 yıllık süreçte, yeni teknolojiler alanında çok köklü değişikliklerin olmaması halinde, fosil kaynaklar, enerji kullanımındaki toplam payları olan % 90'ı koruyacaklardır.

% 90 tüketim değeri içinde, yaklaşık % 42 paya sahip olan kömür; dünya üzerindeki homojen rezerv dağılımı, petrol ve doğal gaz gibi diğer iki fosil kaynağa göre daha fazla kullanım ömrü (yaklaşık 220 yıl) ve geçmişte 20 yıllık sabit fiyatı ile özellikle arz güvenliği açısından, stratejik bir avantajı ile ön plana çıkmaktadır. Petrolün 40 ve doğal gazın ise 60 yıllık bir kullanım ömürleri mevcuttur.

Arlan dünya nüfusu ile birlikte, enerji ihtiyacı da artış göstermekte ve özellikle rezervi az olan enerji hammaddeleri yönünden sıkıntılar yaşanmaktadır. Dünyada ve özellikle Ortadoğu'da yaşanması muhtemel olan petrol krizine hazırlıklı olmak için, petrole alternatif bir yakılın bulunması gelecek için önem arz etmektedir. 1973 yılında yaşanan petrol krizi sebebiyle petrole alternatif olarak kömür-su karışımları (KSK) teknolojisi gündeme gelmiştir. Ancak konuyla ilgili çalışmalar çok daha öncelere dayanmaktadır.

KSK, petrole alternatif bir yakıl olarak gösterilmektedir. Petrol fiyatları 20 S/varil'in altında

olduğu zamanlarda KSK ancak kömür ile rekabete edebilmektedir (Boylu, 2003),

KSK'ların yakıt olarak değerlendirilmekten istenmesinin iki temel nedeni vardır;

- Karışımların, mevcut fuel oil yakma sistemlerinde yapılacak ufak değişikliklerle ağır fuel oil benzer şekilde yakılabilmesi ve depolanabilmesi.
- KSK'ların boru ile taşınabilir olması.

Tipik bir KSK, %60-75 kömür, %24-30 su ve %1 katkı maddelerinden oluşan bir karışımdır. Uygun bir karışım hazırlanması, çeşitli değişkenlerin birlikte gözönüne alınmasını gerektiren karmaşık bir işlemdir. Uygun bir karışım tanımından, maksimum bir kömür yüklenmesi yapılmış, en fazla ağır fuel-oilinkine eş değer bir viskoziteye sahip, belirli depolama ve işletme koşullarında sorun yaratmayan (kömür taneciklerinin çökmesi, viskozitedeki ani değişimler gibi) bir karışım anlaşılmaktadır (NEDO, 1997). Bir KSK için, endüstride beklenen, ancak kesin olmayan hedefler: Brookfield viskozitesinin, 100 rpm'de 1000 cp olması ve çalkalanma olmaksızın, bir hafta sonunda, alt kısımda oluşan sert birikimin; KSK hacminin %5'inden daha az olmasıdır (Ateşok vd., 2002a, 2002b; Boylu ve Ateşok, 1999; Boylu vd., 2001-2004; Dinçer vd., 2002a, 2002b; Hashimoto, 1999; Laskowski, 1999-2001).

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Deneysel Malzemeler

Farklı Türk kömürlerinin kömür su karışımları KSK teknolojisine uygunluğunun incelendiği bu araştırma kapsamında, bitümlü, yarı bitümlü ve linyit kömürlerini temsil eden, sırasıyla; ZB (Zonguldak-Armutçuk), SYB (Soma) ve İstanbul-Ycniköy (İSL) kömürleri kullanılmıştır. Bu kömürler üzerinde yapılan standart ve elementel kömür analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. ZB, SYB ve İSL kömürleri analiz sonuçları (Kuru Baza Göre)

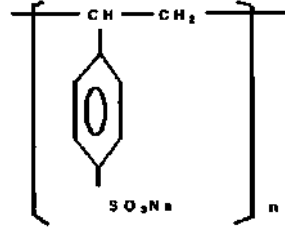
Standart	ÖZELLİKLER	ZB	SYB	İSL
	Neni, %	1,20	18,42	35,50
Kiil, %	12,61	15,31	40,36	
Uçucu Madde, %	30,33	42,37	43,60	
Sabit Karboa %	57,06	42,32	16,04	
Toplam Sülfür, %	0,61	0,69	1,20	
Usl Kalorilik Detfer, Kcal/kg	70B6	4608	3677	
Elementel	C, %	74,86	60,78	58,10
	N, %	1,08	1,09	0,87
	O, %	6,21	17,83	16,91
	H, %	4,63	4,30	4,8
	Porozste, %	9,7	H.B	18,3

Kömür-su karışımlarının hazırlanması deneysel çalışmaları kapsamında, farklı boyutlardaki kömürlerle hazırlanmış karışımlar kullanılmıştır. Viskozite Ölçümlerinde kullanılan kömürlerin boyutları d_{wi} , d_{50} ve d_m açısından Çizelge 2'de verilmiştir. KSK'ların hazırlanmasında gerçekleştirilen tüm deneyler doğal pH olan 8,8'de yapılmıştır.

Uygun KSK karışımlarının hazırlanmasına yönelik yapılan ön çalışmalarda (Dinçer ve ark. 2002), viskozite düşürücü olarak; yüzey aktif madde, kopolimer ve polimerik yapıda 3 farklı dispersan kullanılmış ve bu dispersanların içinde, viskozite ve stabilite açısından polimerik yapıda olan dispersanların daha uygun olduğu saptanmıştır. Ayrıca bu çalışmalarda literatürde yer alan inceltici uygulaması da denenmiş ve kullanılan incelticinin viskozite üzerinde olumlu etkisi olmadığı gibi stabilizasyonu da olumsuz etkilediği saptandığından, deneysel çalışmaların karışım hazırlama aşamasında, polimerik yapıda olan PSS (Sodyum Polistiren Sülfonai, dispersan) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan dispersan maddenin kimyasal yapısı Şekil 1'de ve kimyasal ve fiziksel özellikleri İse Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 3. Stabilite ölçümlerinde kullanılan karışımlar içerisindeki kömürlerin tane boyut dağılımları

KÖMÜR TİPİ	BOYUT, mikron		
	d_{wi}	d_{50}	d_m
ZB	102.0	39.0	10.5
	63.0	24.0	6.5
	56.0	22.5	6.6
	52.0	22.0	6.3
	38.0	19.0	6.2
	35.0	18.0	6.5
SY8	134.0	57.0	13.5
	116.0	49.0	10.1
	96.0	34.0	7.0
	82.0	34.0	6.1
	62.5	26.0	6.3
İSL	206.0	80.0	19.7
	165.0	60.0	13.3
	147.0	50.0	9.53
	111.0	45.0	10.0
	63.0	27.0	6.2



Şekil 1. PSS'nin kimyasal yapısı

Çizelge 4. PSS'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Görünüm	Açık sarı renkli sıvı
Aktif Madde İçeriği, %	37,0
pH (konsantrasyon)	8,00
Özgül Ağırlık (d_{4}^{20})	1,22
Viskozite (mPa.sec 30°C'de)	150
Molekül Ağırlığı	14000
Sülfonasyon Derecesi, %	84

Kömür-su karışımlarının hazırlanmasında, viskozite ölçümleri. Ölçüm programlarının yapıldığı ve sonuçların kaydedilebildiği bilgisayar ile birlikte çalışan, ratasyonel Bohlin Viskometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bohlin viskometre cihazı ile viskozite Ölçümleri yapılabildiği gibi aynı zamanda karışım reolojileri de ölçülebilmektedir. Bohlin Visco 88 BV kullanılarak, 20-1000 rpm arasında 50 değişik spindle dönüş hızında ölçüm yapılabilmektedir.

2.2 Uygulanan Yöntemler

Zeta potansiyel ölçümleri, farklı pH değerlerinde, dispersan (% 0.3 PSS) ve su ortamında, mikroışlem donanımlı (mikroelektroforezis tekniği ile çalışan) Zeta Meter 300 cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Zeta potansiyel ölçümlerinde, lamamı 38 mikron altına inanılmış olan 0.1 gram komur numuneleri kullanılmış ve numunelOO mi saf su içerisine konularak, 10 dakika manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Ölçümler oda sıcaklığında, farklı ortam pH'larında yapılmış ve pH ayarlayıcı olarak HCl ve NaOH kullanılmıştır. Zeta potansiyel ölçümlerinde 15 adet okuma alınmış ve bunların ortalamaları baz alınarak değerlendirilmiştir.

Komur-su karışımlarının hazırlanması aşamasında, uç farklı komur numuneleri üzerinde viskozite ve stabilite çalışmaları yapılmıştır. Viskozite çalışmalarında, belirli boyuttaki komur numuneleri ile farklı pulpte katı oranlarında (PKO karışım içerisindeki komur oranı %) karışımlar hazırlanmış ve

- Komur emsi
- Komur boyutu
- PKO
- Dispersan Konsantrasyonu
- pH

faktörlerinin karışımların viskoziteleri üzerindeki etkilene incelenmiştir. Karışımlar pervaneli karıştırıcı kullanılarak hazırlanmıştır. Karışımların hazırlanması özellikle hidrofob kömürler kullanıldığında, bu tür kömürlerin ıslanmaz özelliğe olmasından dolayı zor olmaktadır. Bu zorluğu yenmek amacıyla, istenilen oranda su ve kimyasal madde ilavesinden sonra komur numuneleri karışım içerisine, yüksek karıştırma hızında yavaş yavaş beslenmiştir.

Karışım viskoziteleri, Bohltz visko 88 viskometre cihazı kullanılarak farklı kayma hızlarında ölçülmüş ve elde edilen kayma-hızı viskozite grafiğinden 100 s⁻¹ kayma hızına karşılık gelen viskozite değerleri saptanarak görünür viskozite olarak ifade edilmiş ve yorumlanmıştır. Viskozite ölçüm çalışmaları sabit ortam pH'sı (8.8) ve sıcaklığında (25 °C) gerçekleştirilmiştir.

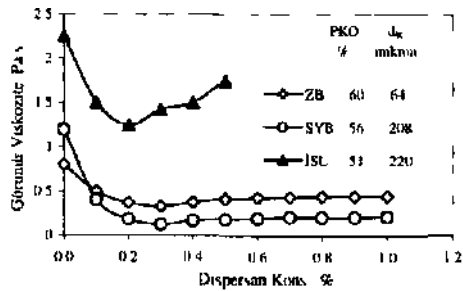
3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Etkin Dispersan Konsantrasyonunun Saptanması

Viskozite ölçüm çalışmalarında öncelikle ZB, SYB ve İSL kömürleriyle hazırlanmış karışımlar üzerinde, etkin dispersan konsantrasyonunu saptanmaya çalışılmıştır. Deneysel çalışmaların sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.

Deneysel çalışmalarda, ZB komur-su karışımı % 60 PKO ve 64 mikron d₅₀, komur boyutunda, SYB komur su karışımı % 56 PKO ve 208 mikron d₅₀ komur boyutunda ve İSL komur su karışımı % 51 PKO ve 220 mikron d₅₀, komur boyutunda olmak üzere kullanılmıştır.

Şekil 2'den izleneceği üzere dispersan ilavesi ile karışımların viskoziteleri belirli seviyelere düşürülebilmekte, ancak çok yüksek dispersan konsantrasyonlarında karışım viskoziteleri olumsuz etkilenmektedir. Bilindiği gibi, düşük viskoziteli karışımlara ancak, sistemin disperse edilmesiyle ulaşılabilmektedir. Dispersiyon ise komur yüzeylerindeki negatif yüzey yüklerinin artırılması ile sağlanmaktadır. Karışımlara ilave edilen dispersanlar komur yüzeylerine adsorbe olarak komur yüzey yüklerini negatif yönde arttırmakta ve bu şekilde komur tanecikleri arasında itme kuvvetleri etkin duruma gelerek sistem disperse edilmektedir. Uygun viskozite ve dispersiyonun sağlanması için, karışım içerisindeki komur taneciklerinin en az -60 mV yüzey yüküne sahip olmaları gerektiği bundan önce yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Hamieh ve dig., 1993). Ancak, belirli bir dispersan ilavesinden sonra, gerek elektriksel çift tabakanın bastırılması gerekse aşırı dispersan ilavesi ile, disperse olmuş sistemde flokleşmanın başlaması sebebiyle karışım viskozitesi olumsuz etkilenmektedir.



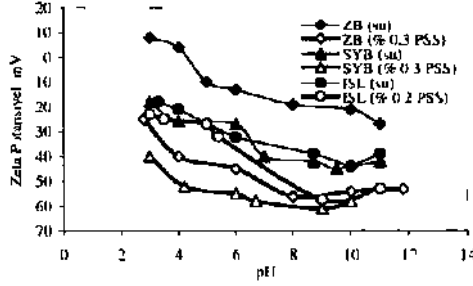
Şekil 2 ZB, SYB ve İSL komur-su karışımları için viskozite açısından etkin dispersan konsantrasyonları

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, % 0.3'e kadar olan PSS konsantrasyonu ile karışım viskozitelerinin önemli ölçüde düşürülebildiği, bu değerden daha yüksek konsantrasyonlarda, aşırı polimer (PSS) konsantrasyonunun tlokulasyona sebep olduğu ve karışım viskozitelerinin arttığı tespit edilmiştir.

Yapılan viskozite ölçüm çalışmaları sonucunda, karışım viskoziteleri açısından, etkin dispersan

konsantrasyonları (komur ağırlığı bazında) uç larklı kömürleşme derecesine sahip kömürler için farklılık göstermiş ve ZB için % 0 3, SYB için % 0 3 ve ISL için % 02 olarak saptanmıştır ZB, SYB ve ISL kömürleri ile hazırlanmış karışımların PKO'ları sırasıyla % 60 %56 %51 olduğundan, elkin PSS konsantrasyon lan karışım ağırlığı bayında, sırasıyla %0 18, % 0 17, % 0 15 olarak tespit edilmiştir Kömürleşme derecesi yüksek olan kömürlerle karışımların hazırlanması işleminde daha fazla oranda dispersan madde ilavesi gerektiği saptanmıştır

Kömürleşme derecesi düşük olan ISL komuru, kimyasal yapısı ve yüzey özelliklen yönünden diğer ıkı kömürden farklı yapıdadır Genel olarak kömürleşme derecesi düşük olan kömürler geniş pH aralıklarında negatif yüzey yukune sahiptirler ve bu kömürlerle hazırlanmış karışımların disperse edilmesi kömürleşme derecesi yüksek olan kömürlere göre daha kolay olmakta ve karışımların dispersiyonu için gerekli kimyasal madde miktarı da nispeten az olmaktadır Bu sebeple kömürleşme derecesi diğer kömürlere göre daha düşük olan ISL komur su karışımı, etkin viskozite değen açısından daha az oranda dispersan madde ilavesi gerektirmiştir Deneysel çalışmalarda kullanılan kömürlere ait su ve PSS ortamında (% 0 3) ölçülen zeta potansiyeli değeri Şekil 3'te gösterilmiştir

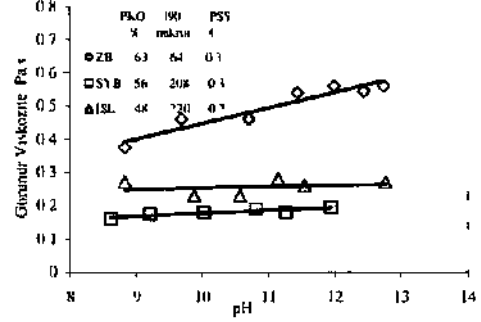


Şekil 3 Deneysel çalışmalarda kullanılan kömürlerin su ve PSS ortamında ölçülen zeta potansiyel değeri

Şekil 3'ten izleneceği üzere, yapılan zeta potansiyel ölçüm çalışmalarda, linyit tipinde olan ISL ve SYB kömürlerinin geniş pH aralığında negatif yüzey yuklenne, bitumlu tipte olan ZB kömürünün ise ancak pH 5-5,5'ten sonra yüksek pH değerlerinde negatif yüzey yukune sahip oldukları saptanmıştır Dispersanlı (PSS ile) ortamda yapılan zeta potansiyeli ölçüm çalışmaları sonucunda ise, ZB ve SYB için % 0 3 PSS, ISL için ise % 0 2 PSS kullanılarak, komur yüzey yüklerinin -60 mV civarına yükseltilebileceği tespit edilmiştir

3.2 Etkin pH Değerinin Saptanması

OH ve H⁺ iyonları potansiyeli tayin eden iyonlar oldukları için, pH değişimi, kimyasal madde adsorbsiyonunu ve dolayısıyla, karışımların dispersiyonunu ve viskozitelerini direkt olarak etkilemektedir Bu nedenle, her uç farklı komur ile hazırlanan komur su karışımlarının pH değerlerinin, karışım viskoziteleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4'le verilmiştir



Şekil 4 Karışım pH sınımlarının viskozitesi üzerindeki etkisi

Şekil 4'ten izlenebileceği üzere, karışım pH'sının artmasına bağlı olarak her uç komur ile hazırlanan karışımların viskozitelerinin arttığı saptanmıştır Ancak, İSL ve SYB komur su karışımlarının viskozitelerinin pH değişiminden çok fazla etkilenmediği, ZB komur-su karışımının viskozitelerinin ise pH artışına bağlı olarak büyük oranda arttığı tespit edilmiştir Bilindiği üzere, İSL ve SYB düşük kömürleşme derecesine sahip kömürlerdir ve geniş pH aralığında negatif yüzey yüklerine sahip olup pH artışına bağlı olarak potansiyel değeri artmaktadır (Şekil 3) PSS, anyonik özellik gösteren polimerdir Yüksek ortam pH'larında, PSS'in anyonik iyonu olan SO₃Na'nın, potansiyel değen yüksek olan komur yüzeylerine adsorbsiyonu zorlaşmaktadır Artan pH değerine bağlı olarak komur yüzeylerinin potansiyel değerinin artması bu pH'larda PSS iyonu ile komur yüzeyleri arasındaki elektriksel itme kuvvetlerinin büyümesine sebep olmakta ve PSS iyonunun komur yüzeylerine bağlanmasını ve karışımların dispersiyonunu olumsuz etkilemektedir Bu nedenle ZB, SYB ve İSL kömürleri ile hazırlanan karışımların yüksek pH değerlerinde ve PSS'li ortamda viskoziteleri dispersiyonun sağlanamaması nedeniyle artış göstermiştir ZB komur su karışımında ve kısmen diğer ıkı karışımında, pH artışına bağlı olarak görünür viskozitede gözlemlenen artış, pH ayarlayıcı olarak sisteme ilave edilen NaOH çözeltisinden gelen Na iyonunun aşırı artışıyla da ortaya çıkmaktadır Karışımların hazırlanmasında kullanılan dispersan

maddenin Na kökenli olması da bu maddenin yüksek pH'larda çözünürlüğünü olumsuz yönde etkileyebilecektir. ZB bitümlü kömür olduğundan doğal pH değerlerinde diğer iki kömüre nazaran daha düşük zeta potansiyeli değerine sahiptir. Bu tür kömürlerle hazırlanan karışımların dispersiyonunda diğer karışımlara nazaran daha fazla oranda dispersan madde kullanılması gerekmektedir. Yüksek pH değerlerinde dispersan madde çözünürlüğünün nispeten azalması dolayısıyla, ZB kömürü ile hazırlanmış karışımların ideal dispersiyonu sağlanamamakta ve viskozite artış göstermektedir.

Ayrıca, polimerler üzerinde geçmişte yapılan çalışmalarda, polimerlerin ac' orbsiyon açısından, pH 10'dan sonra özelliklerini yitirdiklerini ve yumak hatme gelerek işlevlerini kayb ettikleri ifade edilmektedir. Nitekim, geçmişte, Kaji ve dig., (1985) tarafından yapılan çalışmada, pH ayarlayıcı olarak NaOH kullanıldığında karışım viskoziteleri açısından en uygun karışım pH'sının 8-10 olduğu belirtilmiş ve pH 10'dan sonra karışımların gerek viskozitesi, gerekse stabilitesinin olumsuz etkilendiği ifade edilmiştir.

3.3 Pülpte Katı Oranı ve Kömür Tane Boyutunun Karışımların Viskozite Üzerindeki Etkisi

Karışım içerisindeki kömür konsantrasyonunun yada başka bir deyişle PKO'nun viskozite üzerindeki etkilen bundan önce yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur. Artan kömür konsantrasyonuna bağlı olarak karışım viskozitesi de artış göstermektedir. Ancak uygun viskozite değeri için gerekli olan ve çalışılması gereken PKO değeri kömürden kömüre farklılık göstermektedir. Ayrıca çalışılması gereken PKO kömür boyutuna da bağlı olmaktadır.

Deneysel çalışmaların bu aşamasında PKO ve kömür boyutunun, karışımların viskozitesi üzerindeki etkilen incelenmiş ve ZB, SYB ve ISL kömür-su karışımları içim viskozite-PKO-kömür boyutu ilişkisi ortaya konulmuştur. Ayrıca bu çalışmaların sonucunda ZB, SYB ve ISL için istenilen viskozite değerlerine göre kömür-boyutu ve PKO grafiği çizilerek karışım hazırlama abağı oluşturulmuştur. Bu kısımdaki viskozite ölçümleri oda sıcaklığında ve doğal ortam pH'sı olan 8.8'te gerçekleştirilmiştir.

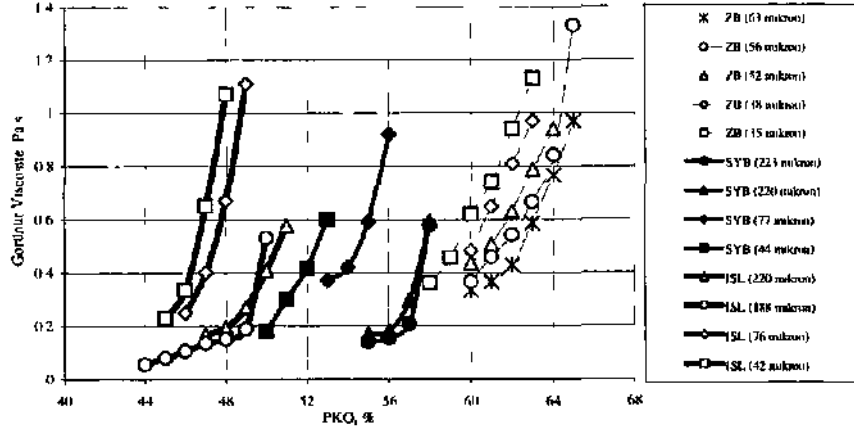
Şekil 5'te ZB, SYB ve ISL ile farklı d_v boyutlarında hazırlanmış karışımlarla gerçekleştirilen viskozite ölçüm deneylerinden elde edilen, PKO-Görünür viskozite ilişkisi verilmiştir. Şekil 7'de ise kömür-su karışımları teknolojisinde uygun çalışma boyutu olarak belirlenmiş 74 mikron (dyo) boyutu için viskozite-PKO ve kömür ctnsi ilişkisi verilmiştir.

Şekil 5 ve Şekil 6'dan izleneceği üzere, kömürleşme derecesi yüksek olan kömürlerle, kömürleşme derecesi düşük olan kömürlere oranla, aynı viskozite değeri için daha yüksek PKO değerlerinde çalışılabilmektedir. Ancak, kömürleşme derecesinin yanı sıra kömür tane boyutu da karışım PKO ile birlikte karışım viskozitesini kontrol eden diğer bir etken olarak görünmektedir. Karışım içindeki kömür boyutunun küçülmesi ile kömür yüzey alanlarının ve yüzey gerilimlerinin büyümesi ve kömür tane boyutlarının arasındaki çekim kuvvetlerinin etkin konuma gelmesi ile disperse olmuş sistem kısmi floklaşma eğilimi göstermekte ve bu da karışım viskozitesini arttırmaktadır. Aynı çalışma boyutları ve karışım viskozitesi içim çalışılması gereken PKO değeri kömürleşme derecesine bağlı olarak değişmektedir. 74 mikron çalışma boyutu ve 1000 mPa s görünür viskozite değerleri için çalışılması gereken PKO değerleri; ZB için % 65.8, SYB için 56.4 ve ISL için %49 olarak tespit edilmiştir.

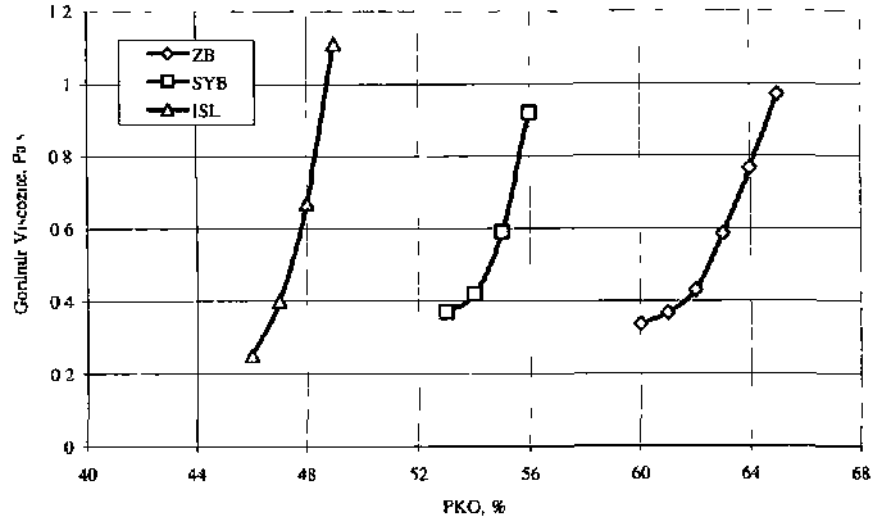
Farklı PKO ve tane boyutu kombinasyonlarında yapılan viskozite ölçüm çalışmaları, sadece karışımların viskozitesi açısından değerlendirildiğinde, tane boyutu küçüldükçe viskozitenin arttığını ve artan viskozitenin de karışımların daha düşük PKO'larda hazırlanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Tane boyutu küçüldükçe istenilen viskoziteyi sağlayabilmek için PKO sınırlaması gerekmektedir. Örneğin 500 mPa.s'lık viskoziteye sahip karışımların hazırlanmasında, ZB kömür-su karışımı için 64 mikrondan 35 mikron tane boyutuna inildiğinde % 3.4, SYB kömür-su karışımı için 224 mikrondan 44 mikron tane boyutuna inildiğinde % 4.7 ve ISL kömür-su karışımları içim 210 mikrondan 42 mikron tane boyutuna inildiğinde % 4.0'luk bir PKO azaltılması gerekmektedir. Bu da yaklaşık olarak, hazırlanan karışımların birim ısı değeri açısından sırasıyla, 240, 215 ve 150 Kcal değerinde bir enerji düşüşüne neden olacaktır. Bununla birlikte çalışılması gereken tane boyutu ve pülpte katı oranı'nda tamamıyla kömürleşme derecesine bağlı olarak değişmektedir.

Şekil 7'de kömürleşme derecelen farklı her üç kömür için, 63 mikron (d^m) çalışma boyutunda, görünür viskoziteye bağlı olarak, çalışılması gereken PKO değerleri toplu olarak verilmiştir.

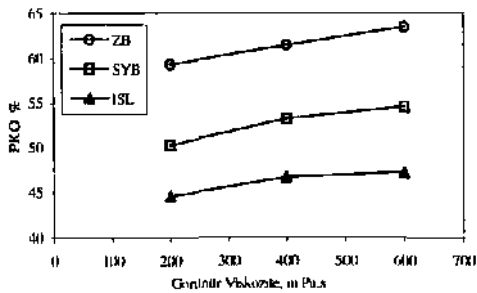
Şekil 7'den görüldüğü üzere; kömürleşme derecesi yüksek olan kömürler, hidrofobite, porozite ve kimyasal yapıları sebebiyle karışım içerisinde daha yüksek kömür yüklemelerine olanak sağlamaktadır.



Şekil 73 ZB, SYB ve ISL ile farklı d_p boyutlarında hasırlanmış karışımlarda, PKO -gonulur viskozite ilişkisi



Şekil 74 74 Mikron (d_{p0}) boyutu için viskozite PKO ve konulur cinsi ilişkisi



Şekil 7 Kömürleşme derecesine bağlı olarak, gomnur viskozite ve PKO ilişkisi

4 SONUÇLAR

- Karışımların hazırlanması aşamasında yapılan viskozite ölçüm deneyleri sonucunda, kömürleşme derecesi düşük olan ISL kömürlerinin uygun dispersiyonu için, kömürleşme derecesi yüksek olan kömürlere oranla daha az dispersan madde ihtiyacı gösterdikleri saptanmıştır. Dispersan madde olarak kullanılan PSS'ın (Sodyum polistren sulfonat, sodyum tuzu) karışım viskozitesi açısından en etkin konsantrasyonu ZB ve SYB kömürleri ile hazırlanmış karışımlar için % 0.3 (komur ağırlığı bazında), ISL komuru ile hazırlanmış karışımlar için % 0.2 olarak saptanmıştır. Etkin PSS konsantrasyonu olan % 0.3 ve % 0.2 değerlerinden sonraki artışlarda, karışımlar flokule olmakta ve karışım viskozitesinin olumsuz etkilenmektedir.
- Ortam pH'sının karışımların viskozitesi üzerindeki etkisinin incelendiği deneylerde, ortam pH'sının artışına bağlı olarak, karışım viskozitelerinin arttığı saptanmıştır. En düşük karışım viskozitelerine doğal pH olan 8.8 civarında ulaşılmıştır. Genel olarak bakıldığında, pH değişimine bağlı olarak karışım viskozitelerindeki artışın, kömürleşme derecesi yüksek olan kömürlerde daha belirgin olduğu saptanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda pH ayarlayıcı olarak NaOH kullanılmıştır. Yüksek pH'larda ortam içerisinde aşırı derecede artan Na iyonu, Na kökenli olan PSS'ın çözünürlüğünü nispeten azaltmaktadır. Ortamda çözünürlüğü azalan PSS, ZB komuru ile hazırlanan karışımların dispersiyonu için gerekli olan katkıyı yapamamaktadır. Bu nedenle, ZB kömürleri ile hazırlanmış karışımların viskozite yüksek ortam pH'larında diğer kömürlerle hazırlanan karışımlara nazaran çok

daha fazla artış göstermiştir. Aynı zamanda, yüksek pH değerlerinde, karışım viskozitelerinin artması, kullanılan kimyasal katkı maddesinin çok yüksek pH'larda ($pH > 10$) yumak oluşturması ve disperse olmuş sistemi bozması ile açıklanabilmektedir.

- PKO ve komur tane boyutunun, karışımların viskozitesi üzerindeki etkilerinin incelendiği deneyler sonucunda, PKO arttıkça karışım viskozitelerinin arttığı saptanmıştır. Komur-su karışımlarının ideal viskozite değeri olan 1000 mPa.s değeri için, karışım içerisindeki PKO'nun değeri, çalışılması gereken PKO değerinin ise tamamıyla kömürleşme derecesine bağlı olduğu saptanmıştır. Kömürleşme derecesi yüksek olan kömürlerin porozite ve nem içerikleri ya da nem çekme özellikleri, kömürleşme derecesi düşük olan kömürlere oranla daha azdır. Bu da kömürleşme derecesi yüksek olan kömürlerle daha yüksek PKO'na sahip karışımların hazırlanmasına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, karışım içerisindeki komur boyutlarının karışım viskoziteleri üzerinde önemli etkisinin olduğu saptanmıştır ve komur tane boyutu küçüldükçe karışım viskozitelerinin arttığı tespit edilmiştir. Boyut ve PKO birlikte değerlendirildiğinde, 63 mikron (dyn) komur tane boyutunda bulunan komur numuneleri ile 600 mPa.s'lık viskoziteye sahip karışımların hazırlanması için, kömürleşme derecesi yüksek olan ZB komuru için % 64 PKO gerekirken, aynı boyut ve viskozite değeri için, kömürleşme derecesi düşük olan SYB ve ISL kömürleri ile çalışılması gereken PKO değerlerinin sırasıyla, % 55 ve % 47 olduğu tespit edilmiştir.

5 KAYNAKLAR

- Ateşok G, Boylu, F, Sirkeci A A & Dınçer H. 2002a. The effect of coal properties of coal water slurries. *Fuel*, 81, 1855-1858.
- Ateşok, G., Boylu, F, Sirkeci, A A. 2002b. Rheological behaviour of low rank turkish coal-water slurries. *Proceedings of 9th Int. Min. Process. Symp.* Kapadokya, Türkiye. 208-210.
- Boylu F & Ateşok G. 1999. Çevre dostu yeni bir enerji hammaddesi komur-su karışımları. *Turhvt de Komin Politikalari ve remiz Komur Teknolojiler Sempozyumu* 21-22 Ekim Ankara, 154-161.
- Boylu F & Ateşok, G, Acarkan N & Koçak, L. 2001. Determining properties of some turkish lignites for the coal water slurry technology. *Proceedings of The 9th Balkan Mineral Processing Congress*, Istanbul, Türkiye. 195-400.

- Boylu, F., 2003. Kömür-Su Karışımları Teknolojisi ve bu teknolojinin Türk Kömürlerine Uygulanabilirliği, *Doktora Tezi*. . I.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Boylu, F., Dinçer, H. & Atesok, G., 2004. Effect of coal partide size distribution, volume fraction and rank on the rheology of coal -water slurries. *Fuel Processing Technology*. 85, March, 241-250.
- DİNÇER, H., Boylu, F. & Alesok, G., 2002a. Stabilization of coal water slurries and its standardization. *Proceedings of 19th Int. Pittsburgh Coal Conference* , Pittsburgh-USA. ISBN 1-890977-19-5.
- Dinçer, H., Boylu, F., Sirkeci, A. A. & Ateşok, G., 2002b. The effect of chemicals on the viscosity and stability of coal-water slurries". *Int. Journal Of Mineral Processing*. 70,41 -51.
- Hamieh, T., Siffen, B., 1993. Rheological properties of coal-water hihgly concentrated suspensions. *Proceedings of the 18th Int. Technical Conference on Coal Utilization and Fuel systems*, Clearwater, Florida, USA, 809-820.
- Hashimoto, N., 1999. CWM: Its Past, Present and Future. *Coal Preparation*. 21,
- Kaji, R., Muranaka, Y., Oztuka, K. & Hishinuma, Y., 1985. Effect of ions on the rheology of CWM. *Proceedings of 7th Int. Symp. On Coal Slurry Fuels preparation and Utilization*. May, Louisiana. USA. 16-23.
- Laskowski, J. S., 1999. Does it matter how coals are cleaned for CWS", *Coal Preparation*, 21, 105-123.
- Laskowski, J. S., 2001. *Coal Flotation and Fine Coal Utilization*, published by Elsevier.
- NEDO (New energy and Industrial Technology Development Organization), 1997. CWM in Japan, *International Cooperation Project for Coal Utilization Technology*. March.
- Yavuz, R., 1996. Linyil-su karışımlarının incelenmesi. *Doktora tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, Türkiye.
- Zang, Z., Zhang, L., Fu, X., & Jiang, L., 1993. Additive for coal-water slurry made from weak slurriabiliy Coal, *JUth Int. Tech. Conference on Coal Utilization & Fuel Systems*, Florida, USA, 61-367.

Garp Linyitleri İşletmesi Termik Santral Kömürleri için İstatistiksel Süreç Kontrol Analizi

H Aykul & H Akçakoca, I Goktay Ediz
Dumiupınar Untversttest Kuahta Tırkiye

M Taksut
TKİ Garp Linyitleri işletmesi, Kütahya Tırkiye

ÖZET :Bu alışmada. Tunçbilek Termik Santraline komu besleyen Garp Linyitleri İşletmesi (GLI) surecının arzu edilen niteliklerde komuru sağlamak im istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı belirlenmiştir Bu amaçla, uygulama aşamasında, 2002 ve 2003 yıllarında GLI'den Tunçbilek Termik Santraline beslenen kömürlerin ısl değer bazında, sur kararlılığı ve süreç yeterliliği incelenmiştir Süreç kararlılık analizi, termik santralin iki grubu im ayrı ayrı, ortalama ve değişim aralığı grafikleri dikkate alınarak yapılmıştır Süreç yeterlilik analizi ise yine Termik santralin iki grubu için ayrı ayrı yeterlilik indeksleri kullanılarak yapılmıştır Sonuç olarak, 2002 ve 2003 yıllarında Termik santrale komur besleyen surecin 2003 yılında iyileşme görülmesine rağmen kararsız ve yetersiz olduğu belirlenmiştir

ABSTRACT In this study, the process of Western Lignite Enterprise which supplies coal to the power plant nearby was statistically investigated to determine whether it is under control or not in providing the desired coal quality For this purpose, process stability and process capability of the coals supplied to the power station was investigated for the year of 2002 and 2003 on the basis of calorific value Process stability analysis was made by taking the average and the range control charts into account for two groups of the power station separately Process capability analysis, on the other hand was made by considering capability indexes for two groups of the power station separately As a result, the process which supplies coal to the power station in 2002 and 2003 was found to be instable and incapable although some improvements were observed in 2003

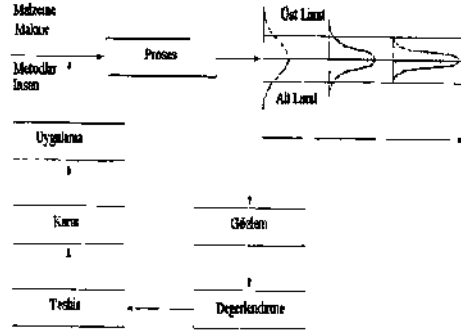
1.GİRİŞ

G n m z n rekabet şartları üretim ve hizmet sekt r ndeki diğer tum firmalarda olduğu gibi maden işletmeleri için de m şteri memnuniyetini önemli bir rekabet kriteri haline getirmiştir Termik santrale komur veren işletmeleide de müşteri memnuniyetinin sağlanması im komur kalitesinin sürekli ve hassas takibi gerekir unku kazan tasarımına uygun komur yakılması verimli santral işletmeciliği açısından oldukça önemlidir (Aslan 1996) Bu yüzden termik santraller alacakları komurun özelliklen için belirli ısl değer esaslı sınırları belirleyip, bu sınırlar dışındaki kömürler için parasal ceza uygulaması yaparlar Bu parasal kayıpların işletmeler im çok ciddi rakamlara ulaştığı bilinmektedir Bunun yanı sıra belirtilen dışında ısl değerde beslenen kömürler, termik

santralin çoğu biriminin çalışma maliyetlerini ve tamir bakım masraflarını arttırdığı gibi ornrunu de kısaltmaktadır (Vogt & Strunk 1996) Termik santrale d şuk kalitede beslenen kömürler aynı zamanda kazan veriminin ve elektrik üretim kapasitesinin düşmesine sebep olmakta, taşınan kul miktarını da artırmaktadır (Vogt & Strunk 1996) Dolayısı ile tasarım özelliklerine uymayan özellikte kömürlerin termik santrale beslenmesinin hem komuru satan işletmeye hem de termik santrale olumsuz teknik ve malı etkileri olmaktadır Bu bakımdan komur üreticileri im kalite iyileştirme, harmanlama ve kalite izleme işlerinin hassasiyetle yürütülmesi gerekmektedir

Madencilikte kalite ile ilgili problemlerin tespiti ve oz m nde kullanılabilir tekniklerden bin de istatistiksel proses kontrol d r (İPK) Toplam Kalite Yönetiminin  retim aşamasında kullanılan kalite

tekniklerinden biri olan İPK, bir ürünün en ekonomik ve yararlı bir şekilde üretilmesini sağlamak amacı ile, istatistik prensip ve tekniklerin üretim tüm aşamalarında kullanılması olarak tanımlanmaktadır. İPK üretimin önceden belirlenmiş kalite özelliklerine uygunluğunu sağlar, kusurlu ürün üretimini en aza indirmekte kullanılır.(Akın 1996; Besterfield 1990). İPK'nın şematik gösterimi Şekil 1'deki gibidir. Şekil 1'de görüldüğü gibi İPK ile, proses sürekli gözlemlenerek problemler tespit edilir, problemin sebepleri belirlenir ve en etkin sebep bulunur, sebepten yola çıkarak çözüm geliştirilir, geliştirilen çözüm uygulanır ve süreç tekrar izlenir. Bu döngü sonsuz bir döngüdür ve bu sayede prosesin sürekli gelişimi sağlanır. Bu adımlar uygulanırken beynin fırtınası, pareto, sebep sonuç diyagramı, veri toplama, kontrol grafikleri, histogram vb gibi problem çözme araçları kullanılır. Burada sürecin gözlemlenmesi aşamasında süreç kararlılığı ve süreç yeterliliği incelenmelidir. Süreç kararlılığını ölçmede kontrol grafikleri, sürecin yeterliliğini ölçmede ise süreç yeterlilik analizi kullanılır. (Devor & Chang & Sutherland 1992; Anonim 1992).



Şekil 1. İstatistiksel süreç kontrol tekniğinin şematik gösterimi (Devor & Chang & Sutherland 1992)

Bu çalışmada Garp Linyitleri İşlemesinden Tunçbilek termik santralına kömür besleyen sürecin ısı değer bazında 2002 ve 2003 yıllarındaki gözlemi yapılmış veya kararlılığı ve yeterliliği incelenmiştir.

1.1. Kontrol Grafikleri ve Proses Yeterliliği

Bir süreçte meydana gelen kalite ile ilgili problemlerin temel sebebi değişkenliktir. Bu değişkenlikler kabul edilebilir tesadüfi nedenlerden ve kontrol edilebilir özel nedenlerden kaynaklanır. Kontrol grafikleri arzu edilen niteliklerde ürün veya

hizmet üretebilmek amacı ile proseste zaman içinde özel nedenlerden kaynaklanan bu değişkenlikleri izlemek ve genel sebeplerden ayırmak için kullanılır. (Besterfield 1990; Anonim 1992). Özel sebebe rastlanmayan veya özel sebeplerden arındırılmış sadece genel (tesadüfi) sebeplerden kaynaklanan değişime sahip bir süreç kararlı veya kontrol altında kabul edilir. Özel sebeplerden kaynaklanan değişim çalışanların düzeltici etkinlikleri ile ortadan kaldırılabılır. Ancak genel sebep değişkenliklerinin ortadan kaldırılması yönetimin sorumluluğundadır. Kontrol grafikleri ile süreç kararlılık analizi yapılırken şu adımlar izlenir:

1. İncelenecek kalite özelliği tespit edilir.
2. Rasyonel alt gruplara dayalı örnekleme yapılır.
3. Kontrol şema tipi ve kontrol limitleri belirlenir.
4. Zamana bağlı üretimle ilgili noktalar işaretlenerek grafikler çizilir.
5. Kontrol şemalarında varsa sınırlar dışında kalan noktalar ve diğer normal dışı davranışlar belirlenerek sebepleri araştırılır düzeltici önlemler alınır (Akın 1996; Ankara & Bilir 1995).

Öncelikle incelenecek kalite özelliği belirlenmelidir. Bir kalite özelliği ya ölçülebilir (ısı değer, tonaj, tenor vb) ya da niteliksel (kusurlu, bozuk, kalın vb) olduğundan, bu grafikler incelenecek kalite özelliğine göre ölçülebilen (niceliksel) ve ölçülemeyen (niteliksel) değişkenler için kullanılan kontrol grafikleri olmak üzere 2 gruba ayrılır. Madencilik faaliyetlerinde genellikle kalite verileri ölçülebilir özelliktedir ve bu yüzden niceliksel kontrol grafiklerinin kullanımı daha uygundur (Akın 1996). Kontrol grafikleri çizilirken verilerin işaretlenmesi rasyonel örnekleme göre yapılır. Bu örneklemede belirli bir sayısı (m) ve büyüklüğü (n) olan alt gruplar oluşturulur. Alt grup örnekleri prosesden belirli bir zaman dilimi içindeki belirli bir anda veya zaman diliminin farklı anlarında örneklenebilir (Besterfield 1990). Kontrol şema tipi incelenecek kalite özelliğine göre seçilir. Kontrol grafiklerinin yatay eksenini belirli bir sayıda örneği içeren alt grupların zamana bağlı sıralanışını gösterirken, dikey eksen ise ölçülebilir kalite özellikleri için büyüklüğü, niteliksel veri için sayımı veya oluşum yüzdesini gösterir (Anonim 1992). Bir kontrol grafiğinin oluşturulması için değişkenin cinsi ne olursa olsun, belirlenmesi gereken 3 temel eleman ise orta çizgi (OÇ), alt kontrol limiti (AKL), ve üst kontrol limitidir (ÜKL). Alt ve üst kontrol limitleri alt grupların genel ortalamasını gösteren orta çizgiden itibaren $\pm 3\sigma$ uzaklığı veya standart normal dağılım eğrisinin %99.73 lük alanını ifade eder (Ankara & Bilir 1995; Akın, 1996). Grafik çizimi alt grupları temsil eden her bir değer grafiğe işaretlenmesi ve işaretlenen noktaların birleştirilmesi

ile gerçekleştirilir. Grafik çizildikten sonra yorumlama aşamasına geçilir. Kontrol grafiklerinde kontrol limitleri dışındaki noktalar özel sebep göstergeleridir. Bununla beraber tüm noktalar kontrol sınırları içerisinde olsa bile, özel neden değişkenliğini ifade eden aşağıdaki süreç davranışları da söz konusu olabilir.

- Orta çizginin bir yanında sıralanmış 9 nokta
- Sürekli yükselen veya düşüş gösteren 6 nokta
- Aynı sırada bir artış bir azalış gösteren 14 nokta
- 2 sınırların dışında olan ardışık 3 nokta
- 4 u ±1 a sınırlarının dışında olan ardışık 5 nokta
- » ±1 a sınırları arasında 15 nokta
- ±1σ dışında ardışık 8 nokta

Bu davranışlar sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olmadığını, pek yakında yetersiz süreç durumu ile karşılaşılacağı ve en önemlisi süreçte bir problemin varlığını anlatır. Kontrol grafikleri süreç kararlılığını bozan problem olduğunu ortaya koymasına rağmen bunun sebepleri ve çözümü konusunda fikir veremez. Sebeplerin bulunması ve çözüm geliştirilmesi kalite gruplarının İPK yöntem ve tekniklerinin uygulanması ile gerçekleştirebilir (Beslerfield 1990).

Bu çalışmada, uygulama bölümünde kalite özelliği olarak ısı değeri dikkate alındığından niceliksel kontrol grafikleri kullanılmıştır. Niceliksel kontrol grafikleri için ortalama (X), değişim genişliği (R), ve standart sapma (σ) şemaları kullanılmaktadır. Bu şemalar için kontrol limitleri hesaplamaları Çizelge 1 deki gibi yapılır.

Çizelge 1 Ölçülebilir özellikler için kontrol limitleri hesaplamaları (Akin, 1996)

Şema Türü	Merkez Hattı	Ait Kontrol Limiti	Üst Kontrol Limiti
Ortalama	\bar{X}	$\bar{X} - A_2 \bar{R}$	$\bar{X} + A_2 \bar{R}$
Değişim Genişliği	\bar{R}	$D_3 \bar{R}$	$D_4 \bar{R}$
Standart Sapma	$\bar{\sigma}$	$B_3 \bar{\sigma}$	$B_4 \bar{\sigma}$

Burada X ve R sırasıyla, altgrup ortalamalarının genel ortalaması ile, altgrup değişim aralıklarının ortalamasını ifade etmektedir ve aşağıdaki gibi hesaplanırlar.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{X}_i}{n} \quad \dots \dots \dots 1$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad \dots \dots \dots 2$$

B₃, B₄, D₃, D₄ kontrol şemaları için çarpan katsayıları olup, çarpan katsayı tablosundan (Besterfield 1990) altgrup örnek büyüklüğüne göre belirlenir. Her bir alt grubun ortalama (X) ve değişim aralığının (R) bulunmasında ise aşağıdaki

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad \dots \dots \dots 3$$

$$R_i = X_{\text{en büyük}} - X_{\text{en küçük}}$$

Formüllerde kullanılan m altgrup sayısını, n altgrup büyüklüğünü, X, ise her bir örnekleme değerini ifade etmektedir (Devor & Chang & Sutherland 1992).

Bir prosesin üretim yeteneğini tanımlama yollarından birisi proses yeterlilik analizidir. Proses yeterlilik analizi ile proses çıktısının incelenen kalite özelliğinin daha önceden müşteri isteklerine göre belirlenmiş ortalama ve toleranslara uygunluğu tahmin edilir. Bu yapılırken prosesin ortalaması ve standart sapması izlenir ve değerlendirilir. (Besterfield 1990)

Normal dağılımlar için proses yeterliliğinin belirlenmesinde C_p ve C_{p,k} olarak isimlendirilen proses yetenek indeksleri veya histogram yöntemi kullanılır. Proses yetenek indeksleri kullanılırken, C_p prosesin sadece yayılımını, C_{p,k} prosesin hem yayılımını hem de ortalamasının hedeflerden sapmasını kontrol etmektedir. C_p ve C_{p,k} indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanır (Akin 1996; Anonim 1992).

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} \quad \dots \dots \dots 5$$

$$C_{pk(üst)} = \frac{\text{Belirlenen üst limit} - \bar{X}}{3\sigma} \quad \dots \dots \dots 6$$

$$C_{pk(alt)} = \frac{\bar{X} - \text{Belirlenen alt limit}}{3\sigma} \quad \dots \dots \dots 7$$

Burada T özellik sınırlarının genişliğini (üstlimit - altlimit), σ ise prosesin standart sapmasını göstermekte olup aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanabilir. Burada di çarpan katsayısıdır.

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \dots \dots \dots 8$$

Herhangi bir proses için hesaplanan C_p ve C_{p,k} değerleri şöyle yorumlanır,
1. C_p ve C_{p,k} > 1.33 ise proses yeterlidir ve spesifikasyonları karşılayabilecek yetenektedir

il $1.33 > C_p$ ve $C_p k > 1.0$ ise proses kabul edilebilir Ancak proses bu spesifikasyonları karşılamada zorluk çekmektedir

$m C_n$ ve C_p , < 1.0 ise proses yetersizdir Prosesi geliştirmek için yaygın çaba gösterilmelidir (Akın 1996)

Histogram yönteminde belirli doneme ait veriler histograma aktarıldıktan sonra spesifikasyon limitleri histogramda gösterilir Limitler dışına çıkan veriler yetersiz prosesi, limitler içindeki veriler ise yeterli prosesi ifade eder (Anonim 1992 >

Proses yeterlilik analizi sürecin özellik sınırları içerisinde ürün üretip üretmediğini gösterir Ancak sürecin kararlı olup olmadığı konusunda aynı sürecin özellik sınırları içinde üretim yapmaya devam edip etmeyeceği konusunda, bilgi vermez Bunun için kontrol grafiklerinin kullanılması gerekir Kısaca yeterlilik analizi prosenin herhangi bir andaki fotoğrafını çekerken kontrol grafikleri prosenin ilimim ortaya koyar Bir prosenin izlenmesi bu iki analizin beraber yapılması ile sağlanabilmektedir (Anonim 1992)

2. GLİ TERMİK SANTRAL KÖMÜRLERİ İÇİN SÜREÇ KARARLILIĞININ VE YETERLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Türkiye Korum İşletmeleri Kurumuna bağlı bir müessese olan Garp Linyitleri İşletmesi, Tavşanlıya 13 km, Kütahya ya 63 km uzaklıkta bulunan Tunçbilek bölgesinde faaliyet göstermektedir Yaklaşık 315 milyon ton linyit rezervine sahip bölgede, üretilen komurun büyük bir bölümü (1,1 milyon ton/yıl) Tunçbilek termik santralına, gen kalanı ise piyasaya bazı kamu kurumlarına çimento fabrikalarına ve diğer alıcılara satılmaktadır Termik Santral A ve B grubu olmak üzere 2 üniteden oluşmaktadır Çalışma konusu bu iki üniteden A grubunun talep ettiği komur ısı değeri sınırları 4000 ± 100 kcal/kg B grubunun talep ettiği komur ısı değeri sınırları ise 2350 ± 200 kcal/kg dır

İşletmeden Termik santral'a beslenen kömürler için süreç kararlılığı ve yeterliliği incelenirken kalite özelliği olarak ısı değeri değişkenini dikkate alınmış bu ısı değeri değişkeninin A ve B grupları bazında 2002 ve 2003 yıllarındaki değişimi izlenmiştir Yıllar bazında değişim izlenirken grupların her yıl için kararlılık ve yeterliliği ayrı ayrı incelenmiş bununla beraber her yıl için 4 dönem bazında proses yeterliliği de belirlenmiştir Kararlılık analizleri yapılırken X ve R şemaları kullanılmış proses yeterlilik analizlerinde ise C_p ve C_{pk} indeksleri kullanılmıştır

İşletmeden 2002 yılında termik santralin A ve B gruplarına beslenen kömürlerin kararlılık analizlerinin yapılması için kullanılan ısı değeri verilen ile X ve R grafikleri için ortalama hesaplamaları Çizelge 2 ve Çizelge 3 de sunulmuştur Aynı hesaplama yöntemi 2003 yılı içinde kullanılmıştır Çalışmada altgrup örnek büyüklüğü (n) 10 olarak $n=10$ için X ve R grafikleri çarpan katsayıları ise $A_2=0.308$, $D_3=0.223$, $D_4=1.777$ $dn=3.078$ olarak alınmıştır Hesaplamalar sonucu elde edilen grupların yıllara göre kontrol limit değerleri Çizelge 4 teki gibidir

Çizelge 4 Termik santral gruplarına beslenen kömürlerin ısı değeri bazında yıllara göre kontrol limit değerleri

Şema Türü	Kontrol Limitleri	2002 Yılı		2003 Yılı	
		A Grubu	B Grubu	A Grubu	B Grubu
X	Orta Çizgi	4357	2743	4365	2568
	Üst Kontrol Limiti	4570	3057.4	4596	2919.1
	Alt Kontrol Limiti	4184	2428.5	4136	2216.8
R	Orta Çizgi	562	1021	747	1140
	Üst Kontrol Limiti	998.6	1814.3	1327.4	2025.7
	Alt Kontrol Limiti	125.3	227.6	166.5	254.2

Yine işletmeden termik santralin A grubuna ve B grubuna 2002 ve 2003 yıllarında beslenen kömürlerin ısı değeri bazında kontrol grafikleri (X ve R) şeması ile Şekil 2.5 te sunulmuştur!

A grubunun 2002 yılı kontrol grafikleri incelendiğinde (Şek 2) hem X hem R grafiklerinde özel sebep gösteren normal dışı davranışlar olduğu (Kontrol limitleri dışında noktalar, T sı $\pm 2\sigma$ sınırları dışında ardışık 3 nokta, $4'$ u $\pm 1\sigma$ sınırları dışında ardışık 5 nokta) görülmektedir Dolayısıyla 2002 yılında A grubuna komin besleyen süreç kararsızdır Aynı grubun 2003 yılı grafiklerine bakıldığında (Şek 3) 10 ar günlük homojenlik bakımından (R grafiği) süreç kontrol altında olmasına rağmen, ortalama grafiğinde 2002 yılındaki kadar olmasa da, süreçte özel sebeplere kaynaklanan değişimler olduğu ($2'$ sı $\pm 2CT$ sınırları dışında ardışık 3 nokta, $4'$ u $\pm 1\sigma$ sınırları dışında ardışık 5 nokta) görülmektedir Özetle 2002 yılına göre süreçte iyileşme olsa da süreç 2003 yılında da kararsızlığına devam etmiştir

B grubunun 2002 yılına ait kontrol grafiği (Şek 4) incelendiğinde hem X hem R grafiklerinde özel sebep gösteren normal dışı davranışlar olduğu (Kontrol limitleri dışında noktalar, orta

Çizelge 2. 2002 yılında A grubuna beslenen kömürlerin (0-18 mm lave) ısı değeri bazında (kcal/kg) Örnekleme değerleri ve ortalama hesaplamaları

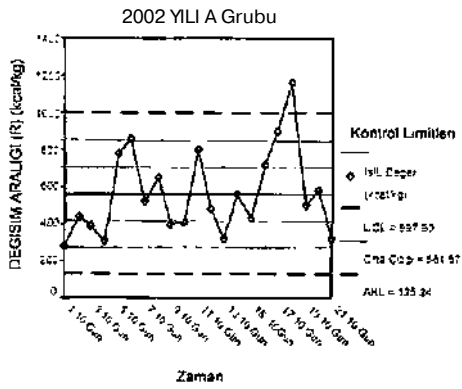
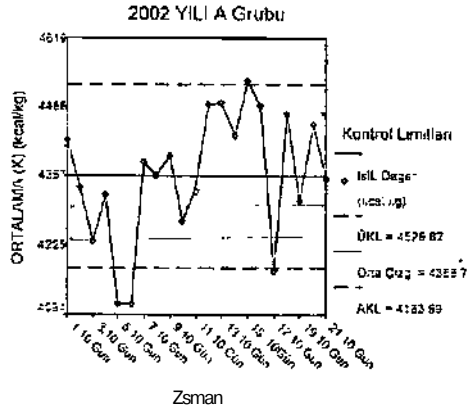
Altgrup	1.Gün	2.Gün	3.Gün	4.Gün	5.Gün	6.Gün	7.Gün	8.Gün	9.Gün	10.gün	\bar{X}	R
1.10 Gün	4451	4412	4390	4550	4425	4310	4553	4440	4433	4273	4424	280
2.10 Gün	4191	4585	4400	4243	4210	4564	4348	4411	4150	4266	4337	435
3.10 Gün	4225	4125	4215	4390	4100	4115	4492	4204	4160	4298	4232	392
4.10 Gün	4305	4150	4303	4281	4461	4293	4299	4315	4423	4375	4321	311
5.10 Gün	4284	4134	4171	4415	4210	4235	4002	4273	3778	3633	4114	782
6.10 Gün	3650	4251	3865	4069	3976	4097	4401	4220	4509	4101	4114	859
7.10 Gün	4500	4224	4374	4108	4393	4352	4478	4632	4430	4353	4384	524
8.10 Gün	4390	4352	4358	4527	4473	4384	4451	3880	4325	4438	4358	647
9.10 Gün	4365	4498	4505	4450	4150	4550	4290	4380	4370	4403	4396	400
10.10 Gün	4455	4230	4082	4103	4193	4495	4152	4243	4335	4414	4270	413
11.10 Gün	4274	4140	4450	4500	4610	4240	3815	4422	4396	4435	4328	795
12.10 Gün	4430	4733	4550	4474	4281	4255	4617	4625	4509	4457	4493	478
13.10 Gün	4552	4501	4392	4463	4492	4312	4563	4630	4450	4600	4496	318
14.10 Gün	4650	4350	4154	4562	4365	4485	4400	4450	4711	4210	4434	557
15.10 Gün	4580	4334	4499	4650	4457	4624	4580	4410	4469	4764	4537	430
16.10 Gün	4400	4380	4352	4571	4744	4604	4448	4375	4157	4878	4491	721
17.10 Gün	4462	4161	4505	4025	4140	3960	3950	3780	4680	4108	4177	900
18.10 Gün	3655	4284	4452	4742	4483	4608	4451	4813	4791	4470	4475	1158
19.10 Gün	4500	4000	4150	4488	4120	4501	4314	4455	4503	4051	4308	503
20.10 Gün	4372	4136	4161	4369	4711	4572	4501	4558	4573	4581	4453	575
21.10 Gün	4465	4412	4430	4415	4434	4150	4344	4298	4250	4300	4350	315
											$\bar{X}=4357$	$R=562$

Çizelge 3. 2002 yılında B grubuna beslenen kömürlerin (0-30 mm lave,0-1000 tüvenan) ısı değeri bazında (kcal/kg) örnekleme değerleri ve ortalama hesaplamaları

Altgrup	1.Gün	2.Gün	3.Gün	4.Gün	5.Gün	6.Gün	7.Gün	8.Gün	9.Gün	10.gün	\bar{X}	R
1.10 Gün	2673	2491	2573	2630	2600	2688	2733	2827	2781	2511	2651	336
2.10 Gün	2747	2497	2457	2465	2194	2691	2377	2200	2450	2309	2439	553
3.10 Gün	2446	2175	2263	2526	2604	2445	2692	2666	2506	2713	2504	538
4.10 Gün	2664	2348	2748	2270	2455	2453	2203	2043	2515	1902	2360	846
5.10 Gün	1987	2202	2358	2580	2300	2790	2379	2488	2850	2657	2459	863
6.10 Gün	2404	2446	2578	2897	2779	2769	2706	2601	2581	2184	2595	713
7.10 Gün	2148	2542	2512	2639	2313	2684	2388	2357	2974	3122	2568	974
8.10 Gün	2324	2476	2850	2548	2668	2458	3274	2618	2737	2686	2664	950
9.10 Gün	2654	2631	2583	2618	2578	2593	2576	2879	2416	2621	2615	463
10.10 Gün	2144	2414	2348	2256	2419	2381	2123	2654	2383	2552	2367	571
11.10 Gün	2756	2054	2451	2948	2512	2360	2554	2453	2881	2492	2546	894
12.10 Gün	2546	2033	2620	3453	2951	2643	3208	3356	3322	2763	2890	1420
13.10 Gün	2205	2969	2795	3421	2546	2415	2601	3217	3476	3489	2913	1284
14.10 Gün	3560	3871	4477	4317	4388	4004	3513	4194	3962	3935	4022	964
15.10 Gün	2727	2308	3491	2153	2913	2724	3307	3630	2294	1772	2732	1858
16.10 Gün	2858	2765	3083	3615	3444	3496	2569	3026	3204	2714	3077	1046
17.10 Gün	3458	2322	2003	2155	3497	3044	3488	3664	3376	3170	3018	1661
18.10 Gün	3256	3016	2597	3541	3732	4019	3069	3594	3100	2716	3264	1422
19.10 Gün	2558	2801	3321	3326	3447	3365	2202	1820	2583	2473	2790	1627
20.10 Gün	2339	2305	2508	2229	2917	2069	2593	2494	2052	2001	2351	916
21.10 Gün	2671	2195	2705	2557	2682	3208	3259	3048	2812	2378	2752	1064
22.10 Gün	2123	2416	2216	2708	2487	2085	2595	2985	2253	2972	2484	900
23.10 Gün	3262	3537	3234	3264	2399	2834	2815	3154	2192	2902	2958	1345
24.10 Gün	2389	2377	2869	2463	2388	3040	3382	3260	2819	2452	2749	1005
25.10 Gün	2609	2978	2453	2214	3127	2228	2244	2225	2470	3073	2562	913
26.10 Gün	2845	2736	2903	3172	3335	3556	3245	2091	3024	2960	2987	1465
											$\bar{X}=2743$	$R=1021$

çizginin bir yanında ardışık sıralanmış 9 nokta, 2 si sınırları dışında ardışık 5 nokta) görülmektedir. $\pm 2a$ sınırları dışında ardışık 3 nokta, 4' ü $\pm 1a$ Dolayısıyla B grubuna kömür besleyen süreç 2002

yılında kontrol altında değildir. 2003 yılında ise 10^* ar günlük homojenlik bakımından süreç kontrol altında olmasına rağmen, ortalama grafiğinde normal dışı davranışların (Kontrol limitleri dışında noktalar, orta çizginin bir yanında ardışık sıralanmış 9 nokta, $2'$ si $\pm 2\sigma$ sınırları dışında ardışık 3 nokta) devam

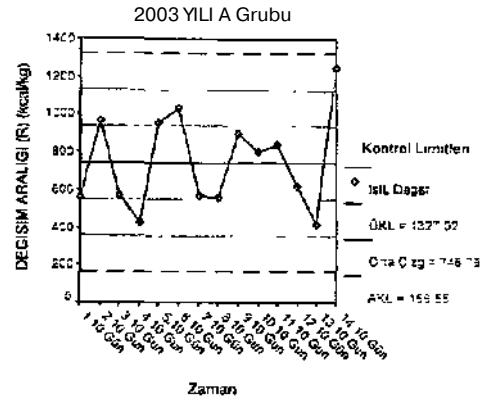
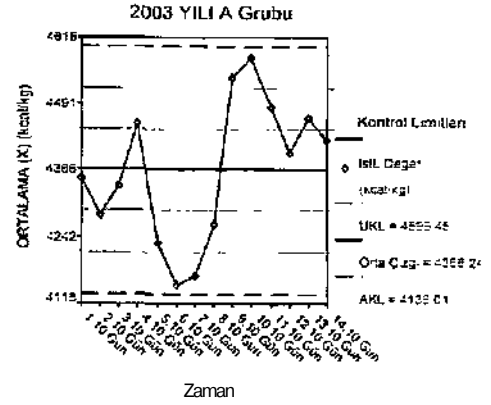


Şekil 2. 2002 Yılında Termik santralin A ünitesine beslenen kömürlerin ısı değeri bazında kontrol grafikleri

Sonuç olarak B grubuna kömür besleyen süreç 2003 yılında da kararsızdır.

A ve B gruplarına 2002 ve 2003 yıllarında kömür besleyen süreçlerin yıllık ve dönemlik bazda yeterlilik indeksleri A grubu için 4000 ± 100 kcal/kg sınırları, B grubu için ise 2350 ± 200 kcal/kg sınırları dikkate alınarak, Çizelge 5 ve Çizelge 6 da verildiği gibi bulunmuştur. Çizelgelerde de görüldüğü gibi gruplara kömür besleyen her iki prosesin yıllık ve dönemlik bazda tüm indeks değerleri 2002 de A

grubunun 3. dönemi hariç ($C_{pk} = 1.14$) I den küçüktür. Ancak değerlendirmede döneme ait en küçük değerler dikkate alındığından bu İndeks değerleri gruplara kömür besleyen her iki sürecin yıllık yeterlilik indeksleri olarak kabul edilmiştir.



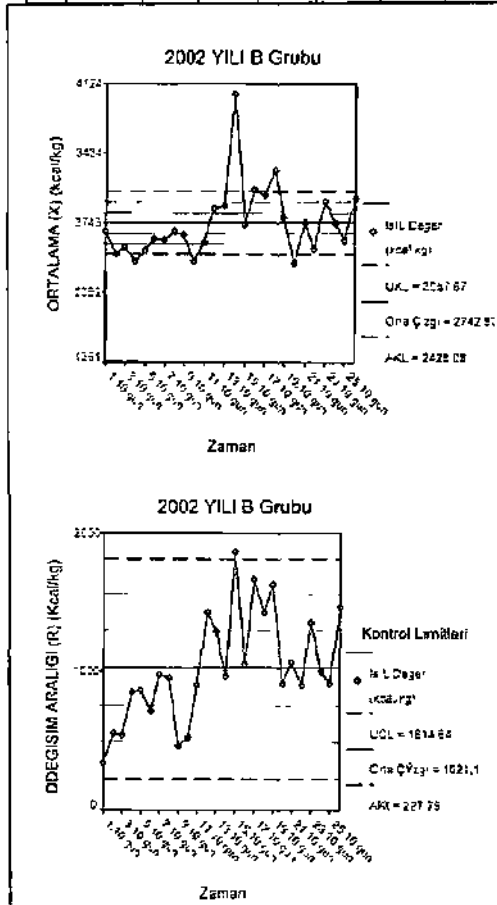
Şekil 3. 2003 Yılında Termik santralin A ünitesine beslenen kömürlerin ısı değeri bazında kontrol grafikleri

Çizelge 5. Termik santral gruplarına kömür besleyen prosesin ısı değeri bazında yıllara göre yeterlilik indeks değerleri

Yıllar	2002		2003	
	A	B	A	B
C_p	0.18	0.20	0.13	0.18
C_{pkUM}	0	0	0	0
Çokalı	0.91	0.59	0.64	0.37

Çizelge 6. Termik santral gruplarının yıldaki dönemlere göre yeterlilik indeks değerleri

Yıl	Dönem	A Grubu			B Grubu		
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
2002	1.	0.16	0.6	0	0.28	0.52	0.04
	2.	0.18	0.8	0	0.18	0.47	0
	3.	0.20	1.14	0	0.10	0.46	0
	4.	0.12	0.6	0	0.10	0.48	0
2003	1.	0.14	0.6	0	0.12	0.33	0
	2.	0.10	0.36	0	0.13	0.33	0
	3.	0.12	0.72	0	0.16	0.21	0.14
	4.	0.12	0.71	0	0.18	0.34	0.01



analizleri sonucunda. Termik Santralin A ve B gruplarına kömür besleyen süreçlerin hem 2002 hem 2003 yıllarında kararsız olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber 2003 yılında 2002 yılına göre özel sebep değişkenliklerinin azaldığı ve 10' ar günlük periyotlardaki homojenliğin arttığı ila belirlenmiştir.

A grubu için 40001100 kcal/kg, B grubu için ise 2350±200 kcal/kg spesifikasyonları dikkate alınarak yapılan yeterlilik analizleri neticesinde ise, her iki gruba kömür besleyen süreçlerin yıllık ve dönemlik bazlarda yetersiz olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar süreçte bazı problemler olduğunu ve kömür besleyen süreçlerin iyileştirilmesi gerekliliğine işaret etmektedir. Süreç iyileştirilmesi özel ve genel sebep değişkenliklerinin nedenlerinin bulunması, çözümlerin geliştirilmesi ve hayala geçirilmesi, sonuçların tekrar izlenmesi prosedürü ile başarı olacaktır. Bu prosedür yerine getirilirken problem çözme araçlarının da kullanılması gerekmektedir.

Yapılan gözlem ve değerlendirmeler sonucunda GL1 Kömür üretim sürecinde belirlenen temel değişkenlik sebepleri aşağıda sıralanmıştır;

- Ocaklarda kömür kalite değişkenliğinin yüksek olması,
- İnceleme yapılan yıllarda, doğal gaz tüketiminin artmasına bağlı olarak stoklarda uzun süre bekleyen kömürlerin oksidasyon artışı sonucunda ısı değerlerindeki düşüşler,
- Termik santrale beslenen kömürlerin kalitesinin üretimin her aşamasında sürekli bir şekilde izlenememesi.

Bu temel değişkenlik sebepleri dikkate alınarak değişkenliğin azaltılmasına yönelik aşağıda sıralanan çalışmaların yapılması yararlı olacaktır.

- Sağlıklı bir cevher yalağı modeline dayanan seçimli madencilik,
- Termik santralin ihtiyaç duyduğu kömür kalite özelliklerini sağlayan bir harmanlama homojenizasyon programının uygulanması,
- Sağlıklı bir harmanlama için kömür kalitesinin anında ve sürekli ölçümünü yapabilen kömür analizörlerinin kullanılması.

4. KAYNAKLAR

- Akın. B., 1996; *işletmelerde İstatistik Proses Kontrol*, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- Ankara, H., Bilir. K., 1995; Kırıblaj tesisinde kalite denetimi, [Madencilikle Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, pp. 235-240, DEÜ Müh. Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- Aslan. H.; 1996; Kömüre dayalı termik elektrik santrallerinde verim ve kapasite kullanım oranı düşüklüğünün nedenleri ve bunların yükseltmeleri

için alınması gerekli tedbirler, Türkiye enerji sempozyumu. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası(Ed.)Ankara.

Besterfield, D.H., 1990; *Quality Control*, Pre ni i ce-Hall International Editions. New Jersey, USA.

Devor, R.E., Chang. T., Sutherland, J.W., 1992: *Statistical Quality Design and Control*, Macmillan Publishing Company, New York. USA.

Anonim 1992; *System approach to process improvement*. United States of Amerika (USA) Minisler of Navy.,Total Quality Leadership Office and Naval Personnel. Research and Development Center, San Diego, USA.

Vogt. W., Strunk. S., 1996; Effects of selective mining on coal-fired power stations. Proceedings of International Symposium on Mining Science and Technology, pp. 29-36, A.A. Balkema, Jiangsu. China.

Bazı Karbonatlı Kayaçalarda (Mermerlerde) Dalgalı Yazıtlar (Stilolitik Yapılar)

S Kulaksız

Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü. Ankara Türkiye

ÖZET: Doğal dekoratif taş endüstrisinde kireçtaşı ve mermerler yer döşemeleri ve duvar kaplamalarında mermer iayans ve levha olarak kullanılırlar Mermerlerin satış fiyatlarını belirlemede renklerdeki değişimler, une boyutu, doku, metamortık ve sedımanter yapılar, matrıks ve tane ilişkileri önemlidir Diğer taraftan bazı sedımanlar ve inetamortık yapılar (tabakalarına düzlemi, yapraklanma, çatlaklar, stılohtık yapılar, fosiller) ve zayıı düzlemler bir menilerin jeomekanık özelliklerini belirler ki, yapılarda kullanım için taş seçimi ve kullanım alanlarında dikkate alınmalıdır Sadece mekanik özelliklen dikkate almak yetmez, bunun yanında zayıflık düzlemleri de test edilmelidir Bu on çalışmada, dalgalı yazıt/karıncı yeniği (stylolite, pressure dissolution, pressure solution, flow, stylolitic seam, sutured zone in rock) çalışılmış ve ingilizce kaynaklarda eş anlamlı kullanılan terimler için bu terim kullanılmıştır

ABSTRACT: In decorative natural stone industry limestones and marbles are mostly used as wall & floor tiles/slabs Variations in color, gram size, texture and sedimentary and melamorphic structures, matnx and grain relations which define the selling prices of a marbles On the other hand, some sedimentary and melamorphic structures (bedding plane, schisosity, joints, stylohtes etc) and weakness planes define the some geomechanical properties which must be considered in the usage area of a marble and stone selection lor construction It is not enough only to consider mechanical properties of a marble, but also weakness planes must be examined In this preliminary study, stylolitic structures properties were studied and in English literature some synonymous words are pressure dissolution, pressure solution, flow, stylolitic seam, sutured zone in rock

1 GİRİŞ

1.1 Dalgalı yazıt yapıları (Stilolitik yapılar - karıncı yeniği)

Dalgalı yazıtlar (stilolitik yapılar) genellikle iki kaya birimi arasında sutunsu piramit şekilli, dalgalı iç içe geçmiş çözülmeyle oluşan süresizlik düzlemleridir Bu yapıların boyutları mikroskobik kenetlenme dokanağı ölçeceğinden birkaç metre boyutuna kadar uzanabilir

Dalgalı yazıtların yapıları hakkında geniş bir kaynak taraması yapan Trırnıl (1968) göre ilk çalışmalar 1751'de Mylous, daha sonra stilolit terimini 1828'de FF Klodan kullanmıştır Dalgalı yazıtların dalga genişliği pekline göre,

- 1 Basit dalgalı
- 2- Düzensiz (suluted) dalgalı
- 3- Yukarı veya aşağı dikkörtgen dalgalı
- 4 Keskin dalgalı
- 5- Sık genlikli dalgalı

şeklinde sınıflaması Park & Schot (1968) tarafından yapılmıştır (Şek 1)

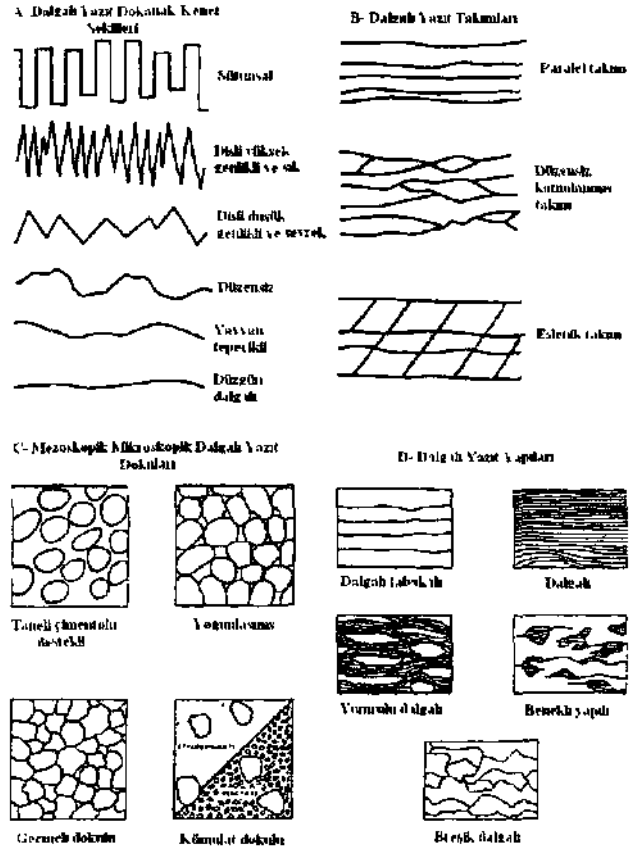
Tabakalanma düzlemine göre dalgalı yazıtların sınıflaması ise (Şek 2) bu düzlemden sapmalara göre isimlendirilmektedir

Karbonatlı kayaçalarda dalgalı yazıtların bir diğer sınıflaması ise,

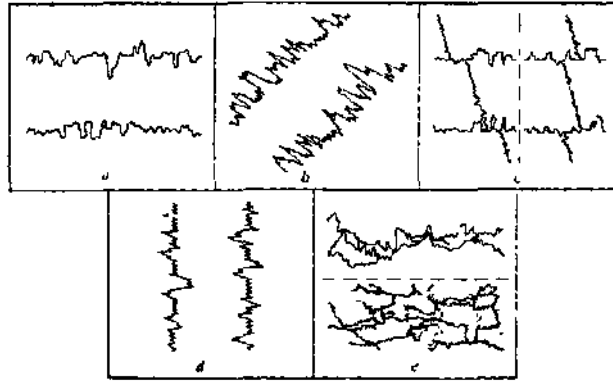
- A- Dalgalı yazıt yüzeyi şekline göre
- B- Dalgalı yazıt takımlarına göre
- C Dalgalı yazıt dokularına göre
- D- Dalgalı yazıt yapılarına göre

Dalgalı yazıtların özelliklen Çizelge 1'de verilmiştir (Flügel 1982)

Dalgalı yazıtların oluşum mekanizmaları hakkında uç değişik önen ileri sürülmesine rağmen oluşum mekanizmasının kayacın diyajene? süreci içinde ortu kütlesi kalınlığının (derinlik) gravite basıncı altında geliştiği kabul edilmektedir (Trırnıt 1968, Park & Schot 1968, Cayoux 1970, Bathurst 1971, Ramos 2000, Smith 2000, Scholz & Karch 2003)



Şekil 1. Dalgalı yazıların sınıflandırılması (Tınımlı 1968)



Şekil 2 Tabaka düzlemine göre dalgalı yazıların sınıflandırılması (a-yaiy, b-egimli, c-birleşik, d-dik, e-ag yapıtlı)

Çizelge I. Dalgalı yazıtların özellikleri

A- Yapısal özellikleri	<ul style="list-style-type: none">• Tabakalarına düzlemine yaklaşık paralel ve/veya yan paralel• Dalgalı damar ve/veya dikdörtgen kesitinde sütunsu görünüm sergileyebilir.• Yazıtın geometrik iki boyut görünümü bulunabilir.• Dalgalı yazıtların dalga genlikleri ve tepe yükseklikleri değişkendir.• Yazıtlar setler halinde bulunabilir.
B- Mineraloji k ve kimyasal özellikleri	<ul style="list-style-type: none">• Genellikle demir oksitli kil mineralleri içerirler, ayrıca ortam kayacın özelliğine göre karbonat mineralleri ve kuvars bulunabilir.• Hakim mineral killerdir.• Dalgalı yazıtların kenetlenme kuşağında her zaman kil hakim olmayabilir.• Mikro yazıtlarda kenetlenme kuşağında çözünmede karbonat mineralleri birincil bileşendir.• Taneli karbonatlı kayacın bileşenleri arasında ve/veya tane çimento-matriks arasında gelişebilirler.
C- Mekanik özellikleri	<ul style="list-style-type: none">• Bir kenetlenme kuşağı olduğundan süreksizlik düzlemi olarak iki kayacın kil dolusu özelliğine, yazıt kalınlığına bağlı olarak pürüzlülük yüzey özellikleri değişkendir.• Donma-çözünme olaylarında birincil zayıf zonları meydana gelirler.• Kimyasal maddelere karşı (asit-baz ve deterjan malzemeler) duyarlıdırlar.• Makaslama kuvvetlerinde en zayıf bölgelerdir.• Darbe dayanımları düşüktür.• Kayacın içerdiği dalgalı yazıt yapısına paralel ve dik basma dayanımları arasında farklılıklar gösterirler (%0-50).

2 SAHA ÇALIŞMALARI

Araştırma için dört farklı karbonat kökenli kireçtaşı yatağı seçilmiştir. Seçilen bu doğal taş yataklarının aynı zamanda farklı jeolojik zaman diliminde olması da dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada ticari açıdan lehte ve aleyhte reklam ve tepkilere girmesi söz konusu olduğundan, ticari isimler ve lokasyonlar simgelerle ifade edilecektir. Sahalarda fiili çalışmalara devam edilmektedir. Örneklemelerden bazı resimler Şekil 3'te verilmiştir.

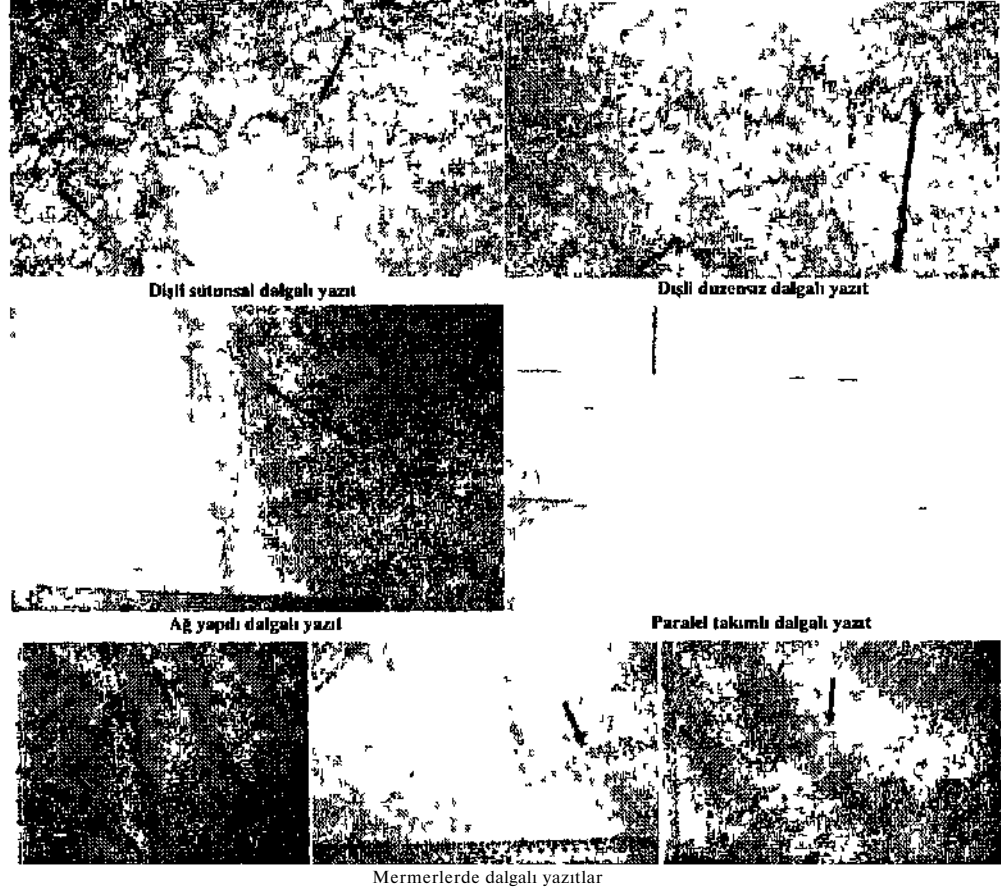
3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Doğal taşların ortam koşullarına uygun kullanımı için gerekli koşullardan olan tek eksenli basma dayanımı, makaslama dayanımı, donma-çözünmede kütle kaybı, plaka/levha/fayanslarda dalgalı yazıt geometrisi ve kimyasal bileşenleri şeklinde mineralojik değerlendirilmesi planlanmıştır.

Yapılan çalışmaların sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Bu çizelgeden görüldüğü üzere, dalgalı yazıtların bulunduğu yazıt sıklığına ve yazıtlara dik ve paralel basma dayanımlarında büyük farklılıklar görülmektedir. Bunların makaslama dayanımları için tasarımılanan kesme kutusu tamamlanmadığından dalgalı yazıt bölgelerindeki pürüzlülük ve dayanım testleri henüz yapılamamıştır.

Beş ve yedi yıllık açık alanlardaki zemin uygulamalarında dalgalı yazıtlar açık alanlardaki mermerlerde tamamen dağılım göstermiştir (Şek.4). Yan açık alanlarda ise kayalar kırılmakla beraber dağılımlar henüz gözlenmemiştir.

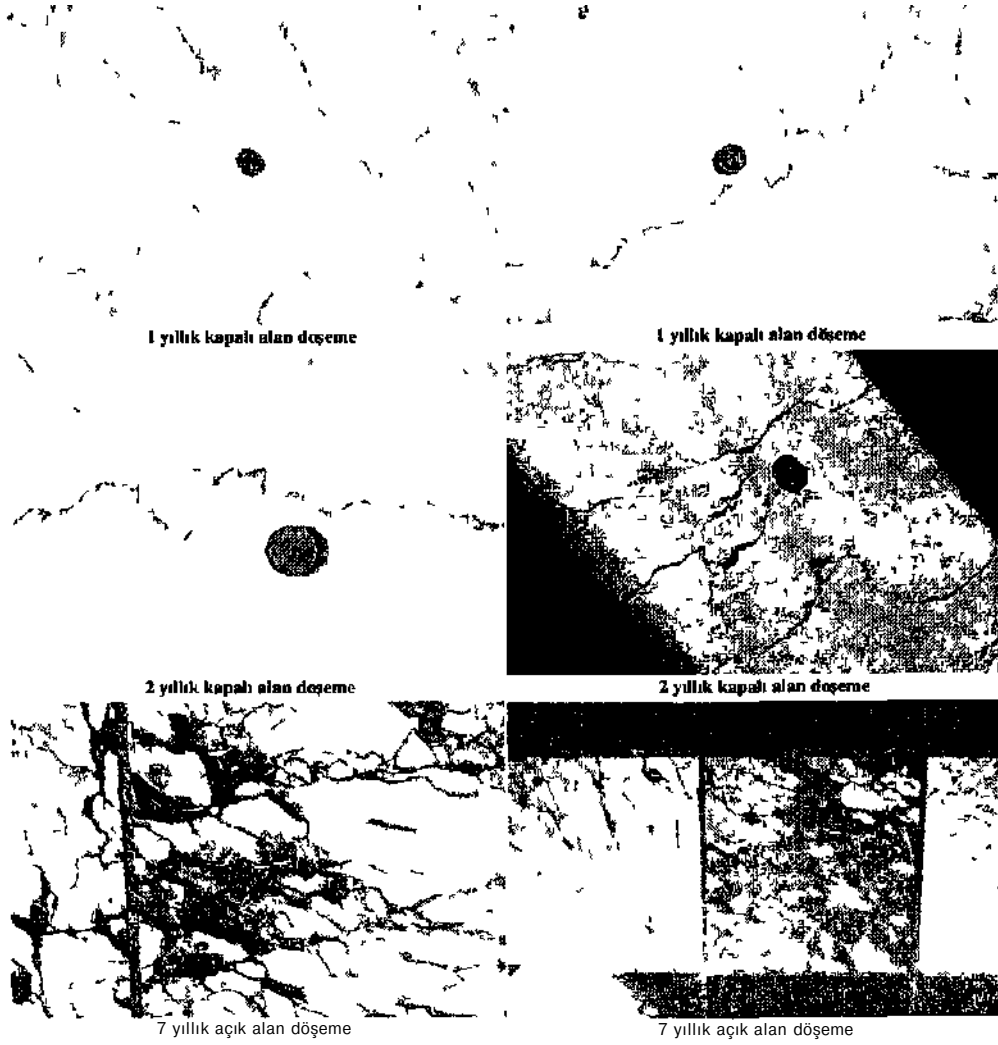
Kireçtaşı mermerlerde eskitme çalışmalarında ise, dalgalı yazıtlarda aşınmalar oyulmalar şeklinde görünürken kalsit damarlarında (sparitik) oyulmalar gelişmemiştir (Şek.5).



Şekil 3 Doğal taşlarda oluşun dalgali yazıt yapılarına örnekler

Çizdpc 2 Deneysel çalışmalarda kullanılan kayakların özellikleri

Örnek no	Kayacın mineralojik bileşenleri ve petrografisi	Dalgali yazıt yapı özellikleri	Tek eksenli basma dayanımı (Oh) Dalgali yazıtta dik/paralel MPa	Makaslama dayanımı (T) Dalgali yazıtta dik/paralel MPa	Donma çözünm. deney adedi	Su emme (%)	Gözeneklilik (%)
1	Mikrnlık fosilli kırtçltı	Paralel dalgali yazıt takımlı tabakalanmayı paralel	70/W	>	25	22	22
2	Spant le şmiş mikrnlık fosilli kireçtaşı	Dalgali yazıt aralığı seyrek	96/70	/	35	50	50
3	Mılntık kireçtaşı	Eşlenik dalgali yazıllı bol kalsit damarlı	50/30	/	25	02	05 1 0
4	Mikrnlık fosilli kireçtaşı	Paralel eşlenikli yazıt lakimli	102/70	>	30	04	04
5	Mermer	Dalgali yazıllı	96/70	/	35	012	03



Şekil 4 Dalgalı yazıtlarda bozunma mal ar



4 SONUÇLAR

Bu ön çalışma sonuçlarına göre;

- Dalgalı yazıtlı karbonatlı kayalarda tek eksenli basma dayanım değerleri yazıtı paralel ve yazıtı dik değerlerde çok bariz farklılıklar görülmektedir.
 - Dalgalı yazıt sıklığı da dayanım değerlerini etkilemektedir.
 - Dalgalı yazıtlı mermerlerin donma ve çözünmenin sık tekrarlandığı iklim koşullarının bulunduğu açık zeminlerde kullanılmaması önerilir.
- Bu konudaki çalışmalar devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- Bathurst, R.G.C.. 1971; Carbonate Sediments and Their Diagenesis, Elsevier Publish. Com., Amsterdam.
- Cayoix. L.. 1970; Carbonate Rocks, Haffner Publish. Comp.. New York. pp. 269-276.
- Flügel. E., 1982; In: Microfacies Analysis of Limestone. Springer-Verlag, Berlin.
- Park, WC, Schot, E.H.. 1968; Slytolites: Their Nature and Origin, Jour, of Sed. Petrology, Vol:38, No:1. pp.175-191.
- Ramos, J.A., 2000; Styolites: Measurement of Rock Loss, Revista Bresileria de Geosciencias, Vol:30, No:3, pp.432-435.
- Scholz. C.R., Karch. Z., 2003; The Fractal Geometry of Some Stylolite from Calcare Massiccia Formation Italy, Jour, of Siruc. Geology. Vol:25, pp. 1301-1316.
- Smith, 2000; Three-Dimensional Morphology and Connectivity of Slyioliles, Jour, of Struc. Geology, Vol:22, pp. 59-64.
- Trumit, P., 1968; Pressure Solution Phenomena in Detrital Rocks. Sed. Geol.. Vol.2, pp.89-114.

Flotasyonda Kalma Süresi ve Besleme Tane Boyunun Verim Üzerine Etkisinin Simülasyonu İncelenmesi

N.M. Can , Ö.Y. Gülsoy , Z. Ekmekçi, Ş.L.Ergün & H. Benzer
Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET: Bir flotasyon hücresinde durma zamanı ve yüzen ürünün flotasyon hız sabiti bilirse verim hesabı yapmak mümkün olmaktadır. Böylece üretilecek ürünün verimi üzerinde hız sabitini değiştirmeyen işlem değişkenlerinin etkisi incelenebilir.

Bu çalışmada kinetik model kullanılarak bir flotasyon bankında durma zamanı ve besleme tane boyu değişiminin verim üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, Çayeli Bakır işletmeleri flotasyon tesisi bakır kaba-süpürme bankı ve çinko kaba bankından alınan veriler kullanılmıştır. Çalışmada her bankın beslemesi ve ürünlerinden alınan numuneler tane boyu fraksiyonlarına ayrılmıştır. Numune alma işlemi sırasında besleme akış hızları (t/h), konsantr ve artığın katı içerikleri ölçülmüştür. Ayrılan fraksiyonların Cu, Zn ve Fe analizleri yapılmıştır. Besleme akış hızı ve kimyasal analizler kullanılarak bir kütle denkliliği programı yardımıyla her bank için kütle denkliliği yapılmış, besleme, konsantr ve alık akış hızları hesaplanmıştır. Kütle denkliliğinden sonra katı içerikleri kullanılarak hacimsel akış hızları hesaplanmıştır. Her fraksiyon için verim (<R) ve bankta kalma süreleri kullanılarak fraksiyonel bazda flotasyon hız sabitleri (X) belirlenmiştir. Böylece durma süresi ve besleme tane boyu değiştirildiğinde flotasyon bankındaki verim değişimi incelenmiştir.

Çalışma sonunda yüksek verim elde edilmesi için gerekli bank hacmi ve buna bağlı olarak bir banktaki hücre sayısı ve yüksek verim için flotasyon besleme tane boyu hakkında değerlendirme yapılmıştır.

ABSTRACT : Recovery can be calculated by using flotation rate constant and retention time in a flotation cell. Hence, it is possible to investigate the effect of operational parameters, which don't change the rate constant, on recovery.

In this study, the effect of retention time and feed fineness on recovery was investigated in a flotation bank by using a kinetic flotation model. For this purpose, data obtained from Cu-rougher, scavenger and Zn Rougher banks of flotation plant of Çayeli Bakır İşletmeleri was used. During sampling survey, samples were taken from the froth and tail of each bank, and sieved. Feed rate (t/h) and solids contents of concentrates and tails were measured in the survey. Then Cu, Zn and Fe contents of each fraction were assayed. Feed, concentrate and tail flow rates were calculated using chemical composition of each fraction by a mass balance software. Then, volumetric flow rates also calculated using solids content of samples. Flotation rate parameters of each size fraction were calculated from the kinetic model. Hence, it was possible to investigate the effects of feed rate and feed fineness on the recovery.

At the end of the study, it was possible to evaluate the total bank volume and required cell number in each bank and feed fineness for high recovery.

I. GİRİŞ

Flotasyon devrelerinde basit kinetik modeller kullanılarak işlem değişkenlerinin etkisi tahmin edilebilir. Bu amaçla mevcut bir flotasyon bankından numuneler alınır, bu numuneler kullanılarak fraksiyonel bazda yüzen malzemenin kinetik davranımı belirlenir.

Bir flotasyon bankında her bir hücrenin köpüğünden ve artık akışından numune alınarak kimyasal analizleri yapılırsa, bank boyunca araştırılan her bir türün verimi hesaplanabilir. Eğer hücre bazında veriler mevcut değilse flotasyon bankı besleme, konsantr ve artığından alınacak veriler kullanılarak da bu tür bir çalışma yürütülebilir. Bu şekilde

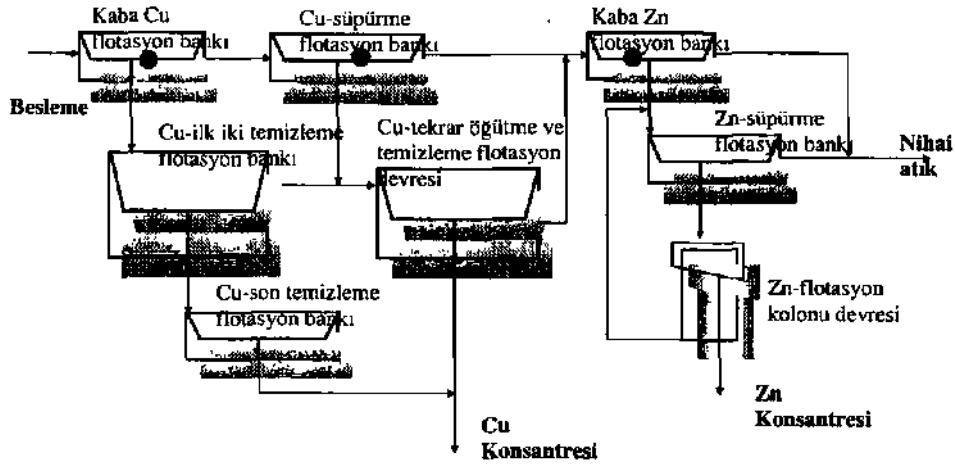
incelenen bankda verim kullanılarak flotasyon hız sabiti (k) belirlenebilir. Böylece, denge durumunda yapılacak olan bu tür bir hesaplama ile incelenen bank için yüzdürülen malzemenin yüzme davranımı ortaya konulmuş olmaktadır. Bunun sonunda, kullanılan kimyasal dosajı, hava hızı, pervane devri vb. gibi flotasyon davrananını etkileyen işlem değişkenleri sabit kalmak koşuluyla, durma süresini (X) etkileyen bank hacmi veya gerekli hücre sayısı, yada besleme akış hızı gibi değişkenlerin verim (R) üzerine olan etkisi incenebilir. Aynı şekilde flotasyon davranımı tane boyu bazında onaya konulacağı için besleme malzemesi boyut dağılımında meydana gelebilecek değişikliklerin verim üzerindeki etkisi de ortaya konulabilir (Bull, 1965).

Bu çalışmada, Çayeli Bakır işletmeleri flotasyon tesisi bakır kaba-süpürme bankı ve çinko kaba bankında kinetik modelleme yapılmış, Cu ve Zn için

fraksiyonel bazda flotasyon hızları sabitleri belirlenmiştir. Fraksiyonel bazda bulunan bu hız sabiti değerleri kullanılarak durma zamanı ve besleme iane boyu bu banklardaki Cu ve Zn verimleri üzerine etkisi incelenmiştir. Böylece, besleme tonajı ve öğütme inceliğinin optimize edilebileceği bir araç ortaya konulmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışma Çayeli Bakır işletmeleri flotasyon tesisi kaba bakır-bakır süpürme ve kaba çinko bankı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sırasında modelleme yapılan tesis akım şeması Şekil 1'de görüldüğü gibi işletilmektedir. Çalışmanın yürütüldüğü sırada devrede işlenmekte olan ve SpecOre olarak tanımlanan cevher özellikleri Çizgece 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Modelleme Yapılan Flotasyon Devresi ve Modellenen Flotasyon Bankları (siyah yuvarlaklarla işaretlenen banklar)

Devrede bazı birimler birden çok flotasyon bankı veya öğütme birimleri içermektedir. Bu nedenle bu kısımlar şematik gösterimde tek bir sembol ile ifade edilmiştir. Bu tür birimlerde bir modelleme çalışması yürütülmemiştir. Şekil üzerinde siyah noktalarla işaretlenmiş olan semboller modelleme yapılmış olan flotasyon banklarını ifade etmektedir.

Kaba Cu flotasyon bankı 3 adet 16 m³'lük Outokumpu flotasyon hücresinden, Cu süpürme bankı ise 4 adet 16 m³'lük Outokumpu flotasyon hücresinden oluşmaktadır. Kaba Zn flotasyon bankında ise 3 adet 38 m³'lük Outokumpu flotasyon hücresi bulunmaktadır.

Çizelge 1. Flotasyon Devresi Beslemesi

Size (fım)	Cu devresi beslemesi				Zn devresi beslemesi			
	% Wt	% Cu	% Zn	% Fe	% Wt	% Cu	% Zn	% Fe
+50	18.36	5.48	5.41	34.4	19.53	2.28	5.82	34.5
-50+36	12.96	4.04	4.01	40.5	11.38	0.97	3.89	40.3
-36+20	24.46	3.70	3.25	41.0	24.04	0.64	3.46	42.6
-20+9	19.74	4.85	4.51	38.1	22.79	0.46	4.38	39.8
-9	24.48	5.51	4.56	31.5	22.26	0.87	4.48	33.2
Toplam	100.00	4.74	4.31	36.83	100.00	1.01	4.41	38.03
Besleme tonajı	147.83 t/h				126.81 t/h			

Devrede modelleme çalışmasını yürütmek amacıyla öncelikle incelenen her bir bankın besleme, köpük ve artığından numuneler alınmıştır. Numuneler bu noktalara tesisteki rutin kontrol işlemleri için yerleştirilmiş bulunan otomatik numune alma düzeneklerinden alınmıştır. Alınan numuneler yaş ve kuru olarak tartılmıştır. Böylece her bir numunenin ağırlıkça katı içerikleri belirlenmiştir. Daha sonra numuneler 50 ve 36 mikronluk eleklerden yaş olarak elenmiş, -36 mikron fraksiyonu ise eyelosizer ile sınıflandırılmıştır. Fraksiyonların kimyasal analizleri yapılarak her bir fraksiyonun Cu, Zn ve Fe içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen tane boyu dağılımı ve palp katı içeriği değerleri kullanılarak bir kütle dengliği programı yardımı ile kütle dengliği yapıp, besleme miktarına bağlı olarak her bir köpük ve artık akışı için akış hızları hesaplanmıştır. Aynı kütle dengliği programı yardımı ile su dengliği de kurularak her bir koldaki hacimsel akış hızları da hesaplanmıştır.

2. MODELLEME ÇALIŞMALARI

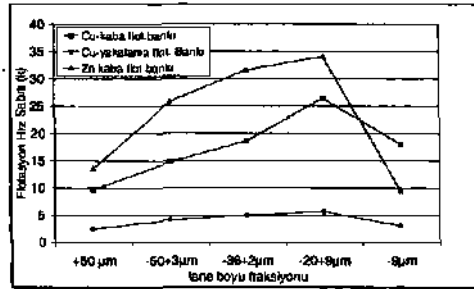
Çalışmanın bu bölümünde tesisten toplanmış olan veriler kullanılarak fraksiyonel bazda yüzme hızları belirlenmiştir. Bu amaçla sürekli sistemlerde yzürülen malzemelerin kinetik davranımını tanımlamak amacıyla kullanılan aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Arbiter & Harris, 1962):

$$R_i = \frac{k_i A}{1 + k_i A}$$

Burada; R, i boylu fraksiyon için verim,
k, i boylu fraksiyon için flotasyon hız sabiti,
X durma süresidir.

İnceleme yapılan flotasyon bankında her bir tane boyu fraksiyonu için Cu ve Zn verimi kimyasal analizler ve akış hızları kullanılarak hesaplanmıştır.

Yine aynı banklar için ölçülmüş olan hacimsel akış hızları ve toplam bank hacmi verileri kullanılarak flotasyona giren malzemenin flotasyon bankındaki kalış süresi hesaplanmıştır. Kalış süresi hesaplamalarında her bir bankın hacimsel alık akış verileri kullanılmıştır. Her bir fraksiyonun Cu ve Zn verimi ile fraksiyonun bank içinde kalış süreleri bilindiği için yukardaki eşitlik kullanılarak fraksiyonel bazda flotasyon hız sabiti değerleri hesaplanabilmektedir. Hesaplama yapılan tüm banklarda flotasyon hız sabitinin tane boyu ile değişimi Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Kaba Cu ve Süpürme Banklarında Flotasyon Hız Sabiti (k)-Tane Boyu İlişkisi

Şekil incelendiğinde Cu için flotasyon hız sabitinin özellikle 50 mikrondan iri boyda en düşük olduğu görülmektedir. Tane boyu incelidikçe hız sabitinin değeri de artmaktadır. Beklendiği gibi çok ince tane boyunda hız yeniden azalmaktadır. Çünkü, incelenen tane boyunda çarpışma ve yapışma etkinliğinin azalması gibi parametrelerin flotasyon hızını düşürdüğü bilinmektedir. Süpürme devresinde flotasyon hızı kaba devredekinden oldukça düşük olmaktadır. Kaba devrede hızlı yüzenler gelmekle ve flotasyon hızı da buna bağlı olarak yüksek olmaktadır. Süpürme devresinde ise yavaş yüzen taneler yakalanmakta ve bu banktaki yavaş yüzmenin bir göstergesi olarak düşük flotasyon hız sabiti değerleri ölçülmektedir. Zn için de bu durum

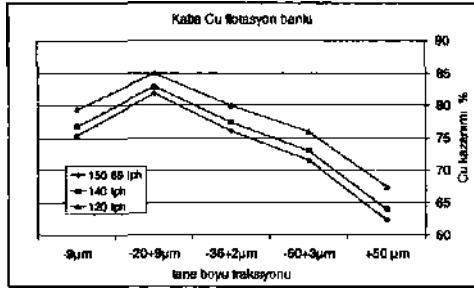
benzer davranım göstermektedir. Çok iri ve çok ince tanelerin flotasyon hızları ara boylara oranla düşük olmaktadır.

Modelmeden elde edilen veriler kullanılarak tane boyu fraksiyonu bazında inceleme yapılan banklar üzerinde kalma süresini etkileyen kapasite, bank girişindeki tane boyu dağılımı gibi parametrelerin ayırım performansı üzerine etkisi incelenebilir. Bu nedenle simülasyon çalışmalarına başlanmıştır.

3. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

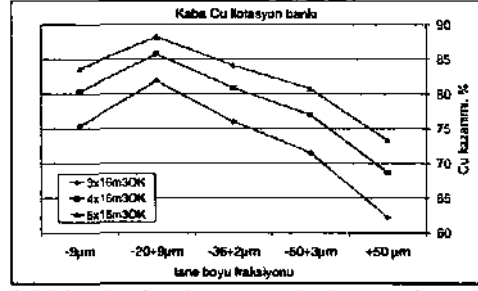
3.1. Kaba Cu Flotasyon Bankı

Belirlenmiş olan flotasyon hız sabiti değerleri kullanılarak besleme miktarı ve her bank için besleme iane boyunun etkisi model kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Kaba Cu bankı verileri kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasında besleme akış hızının etkisi tesise yapılabilecek en yüksek besleme değerine yakın bir değer seçilerek incelenmiştir. Besleme miktarı öğütme devresinin işleyebileceği en yüksek değer göz önüne alınarak belirlenmiştir. Buna göre besleme miktarının etkisi Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. Kaba Cu Flotasyon Bankında Besleme Tonajının Cu Kazanımına Etkisi

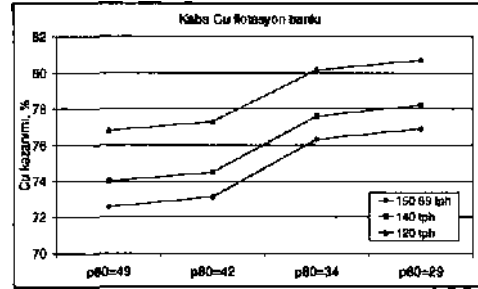
Şekil incelendiğinde besleme miktarı 120 t/h'den 150.69 t/h değerine artırıldığında Cu kazanımında fraksiyonel bazda %10'a varan azalmanın olduğu görülmektedir. Bu durumda durma süresinin artırılması ile meydana gelen bu verim kaybının önlenilebileceğini göstermek amacıyla Cu-kaba flotasyon bankında bulunan hücre sayısı artırılmıştır. 150.69 t/h besleme için yapılan bu incelemede elde edilen sonuçlar Şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 4. Kaba Cu Flotasyon Bankında Hücre Sayısının Cu Kazanımına Etkisi

Şekil incelendiğinde durma süresinin artmasını sağlayan ilave hücre ile kaba Cu flotasyon bankında besleme tonajındaki artış ile meydana gelen Cu verim düşüşünün önlenilebileceği görülmektedir.

Aynı devrede besleme inceleği değiştirilerek Cu kazanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla öğütme devresi üzerinde daha önce yapılmış olan modelleme ve simülasyon çalışmasından elde edilen veriler kullanılmıştır. Böylece devreye hayali bir boyut dağılı beslenerek gerçekte mümkün olmayacak bir durum üzerinden değerlendirme yapılmasından kaçınılmıştır. Öğütme devresi sınırları göz önüne alınarak hazırlanmış olan yeni besleme boyut dağılımlarının etkisi Şekil 5'de verilmektedir.



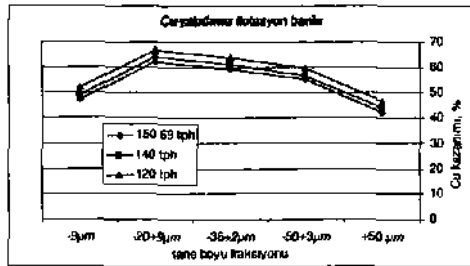
Şekil 5. Kaba Cu Flotasyon Bankında Besleme İnceliğinin Cu Kazanımına Etkisi

Şekil incelendiğinde besleme p80 boyu 49 mikrondan 29 mikrona indirildiğinde kaba flotasyon bankındaki toplam bakır kazanımında %5-6 gibi önemli artışlar meydana gelmektedir. Bu durum düşük ve yüksek kapasitede benzer şekilde gerçekleşmektedir.

3.2. Cu-Süpürme Flotasyon Bankı

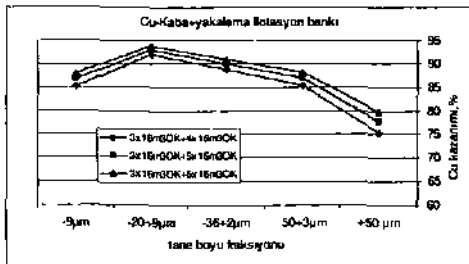
Kaba devre üzerinde yürütülmüş olan modelleme çalışması süpürme bankı üzerinde de yürütülmüştür. Süpürme bankı üzerinde besleme miktarının etkisi

incelenirken, kaba devre beslemesindeki artış sonunda süpürme devresine gidecek tonaj değerleri hesaplanmış ve simülasyonda kullanılmıştır. Bu durumda süpürme bankı girdisine göre akış hızının Cu kazanımı üzerine etkisi Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Cu-Süpürme Flotasyon Bankında Besleme Tonajının Cu Kazanımına Etkisi

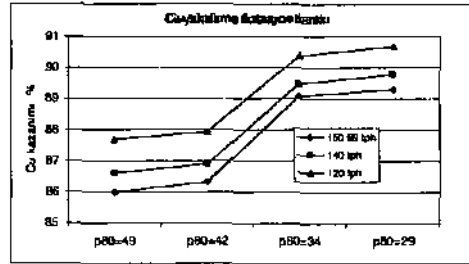
Süpürme bankında da kaba banktakine benzer olarak en yüksek flotasyon hızı -20+9 mikron fraksiyonunda olmaktadır. Bu bölümde fraksiyonel Cu kazanımı %40 ile %70 arasındadır. Bu değer süpürme bankına giren Cu miktarı üzerinden hesaplanmıştır. Bu nedenle bu bankta yüzme işleminin daha zor olduğunu açık olarak söylemek mimkindür. Orjinal beslemeye göre hesaplandığında ise fraksiyonel bazda %12 ile %16 arasında değişim göstermektedir. Kaba ve süpürme devresi birlikte göz önüne alındığında ise fraksiyonel bazda Cu kazanımı Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 7. Cu-Kaba+Süpürme Flotasyon Bankında Hücre Sayısının Cu Kazanımına Etkisi

Süpürme devresinde besleme tane boyunun etkisi incelenirken kaba+süpürme devresi tek bir bank olarak ele alınmış ve flotasyon hız sabiti bu iki bankın toplamı için fraksiyonel bazda yeniden belirlenmiştir. Her iki bankın toplamı için hesaplanan bu sabitler kullanılarak flotasyon devresi besleme tane boyu değişiminin kaba+süpürme devresi üzerinde Cu kazanımını nasıl etkilediği

araştırılmıştır. Flotasyon devresi besleme tane boyu değişimine bağlı olarak kaba+süpürme devresindeki Cu kazanımı Şekil 8'de verilmektedir.

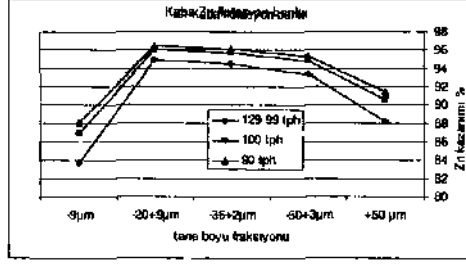


Şekil 8. Besleme İnceliğinin Kaba+Süpürme Devresindeki Cu Kazanımına Üzerine Etkisi

Şekil 8'den de açık olarak görüldüğü gibi flotasyon devresi besleme tane boyundaki artışla kaba+süpürme devresinde Cu kazanımında önemli miktarda artış sağlanabileceği anlaşılmaktadır.

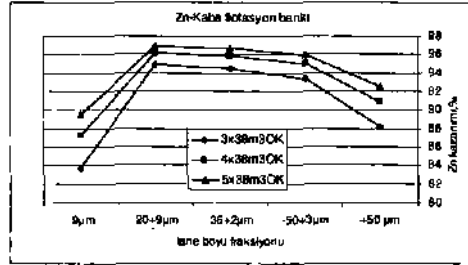
3.3. Kaba Zn Flotasyon Bankı

Modelleme çalışması ile kaba Zn flotasyon bankı için fraksiyonel bazda elde edilmiş olan flotasyon hız sabitleri kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu bölümde bankın beslemesini oluşturan Cu-devresi artışına ait veriler kullanılmıştır. Besleme miktarı ve tane boyundaki değişimlerin etkisi incelenirken, öncelikle Cu-kaba devresine yapılabilecek besleme ile ilgili sınır değerler göz önüne alınmıştır. Böylece Cu devresine yapılan besleme sonunda devreden çıkacak ve Zn devresi beslemesini oluşturacak akışın kaba Zn flotasyon bankı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Cu devresine 150.69 t/h besleme yapıldığında Zn devresine 129.99 t/h katı gelmekte Cu devresine 120 t/h besleme yapıldığında is Zn devresine 90 t/h katı gelmektedir. Kaba Zn bankı bu aralıkta incelenmiştir. Kaba Zn flotasyon bankı besleme miktarındaki değişimin Zn verimi üzerindeki etkisi Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 9. Kaba Zn Flotasyon Bankında Besleme Tonajının Zn Kazanımına Etkisi

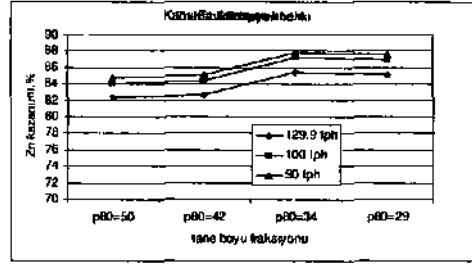
Beklendiği gibi banka yapılan besleme miktarı arttığında Zn verimi düşmektedir. Özellikle -9 mikron fraksiyonu için flotasyon son derece düşük olup en yüksek flotasyon verimi -20+9 mikron tane boyu fraksiyonunda elde edilmiştir. Şekil 9 İncelendiğinde de banka yapılan besleme tonajı arttıkça verimin düştüğü açık olarak görülmektedir. Yüksek tonajları tolere edebilmesi amacıyla banka ek hücre yerleştirilmesinin Zn verimine etkisi yine simülasyonla incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 10'da verilmektedir.



Şekil 10. Kaba Zn Rotasyon Bankında Hücre Sayısının Zn Kazanımına Etkisi

Şekil incelendiğinde kapasitedeki artışın toplam hücre hacmindeki artış ile tolere edilebileceği görülmektedir.

Aynı bank üzerinde besleme tane boyu değişimi de incelenmiştir. Bu amaçla flotasyon devresi beslemesi tane boyu, öğütme devresinin izin verdiği sınırlar içinde değiştirilmiş, ve bu değişikliğin sonunda Cu devresi artışının boyut dağılımının ne şekilde olacağı yine simülasyon yoluyla belirlenmiştir. Buna göre de değişen Zn devresi besleme tane boyunun kaba Zn bankında Zn kazanımına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 11'de verilmektedir.



Şekil 11. Kaba Zn Flotasyon Bankında Besleme İnceleneğinin Zn Kazanımına Etkisi

Şekil incelendiğinde kaba flotasyon bankı beslemesi incelendiğinde banktaki toplam Zn kazanımının %4 oranında artırılabilir olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışma, bir flotasyon devresinde modelleme yoluyla besleme miktarı, ve besleme tane boyunun flotasyonda kazanımı üzerine etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Özellikle tesis ölçeğinde yapılmış olan böyle bir çalışma ile herhangi bir türün yüzme davtamını belirlenirse bu verilerin bir devrede kontrol amaçlı kullanılabilir olduğu ortaya konulmuştur.

İnceleme yapılan devrede -9 mikron ve +50 mikron boyut fraksiyonları için hem Cu flotasyon hızı hem de Zn flotasyon hızının önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Böylece +50 mikron boyut fraksiyonunun azaltılması amacıyla öğütme İnceleneği kontrol edilebilir. Fakat bu aşamada -9 mikron fraksiyonundaki artış da göz önüne alınmalıdır.

İnceleme yapılan aralıkta, kapasite artışına bağlı olarak meydana gelebilecek verim kayıplarının toplam bank hacmi artırılarak giderilebileceği belirlenmiştir. Bu da banka ilave hücre eklenmesi ile mümkün olabilir. Ayrıca, besleme tane boyunun artırılması ile verimde artışın meydana gelebileceği belirlenmiştir. Böylece besleme tane boyu değiştirilerek kapasitede artış sağlamak da mümkün olmaktadır.

5. ACKNOWLEDGMENT

Authors would like to thank to Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş. for technical and financial support during the study and permission for publication.

KAYNAKLAR

- Arbiter, N., & Harris, C.C. (1962), Flotation Kinetics, in Froth Flotation 50th Anniv.Vol. (*né.* D.W. Furstenau). pp.215-246 (Amer. Ins. Min.Met. Engrs.: New York)
- Bull. W.R., (1965), Flotation Kinetics, and Application to the Interpretation of Plant Performance and The Design of Treatment Circuits, Flotation Kinetics and Treatment Circuit Design., p 1113

Zonguldak Merkez Lavvarının Performans Etüdü ve Kozlu-Üzülmez Bölgesi Kömürlerinin Kullanım Teknolojilerine Yönelik Zenginleştirme Özelliklerinin Tesbiti

G. Ateşok, N. Acarkan, A. Güney, A. Gül, O. Kangal, O. Kökkılıç

İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak-İSTANBUL

ÖZET: %40 küllü kömürü zenginleştirmek üzere 1957'de kurulan Zonguldak Merkez Lavvan'ında, halen %60 kül içerikli kömür zenginleştirilmekte, bu ise tesiste elkin bir zenginleştirme yapılmasını engellemektedir. Ayrıca tesis kurulduktan sonra flotasyon gibi bazı üniteler devre dışı bırakılmış; 0.5 mm altındaki ürün doğrudan termik santral yakıtı olarak kullanılmaktadır. Bu araştırmada, Zonguldak Merkez Lavvan'ında tesise beslenen Kozlu ve Üzülmez Bölgeleri tuvenan kömürleri ile tesisten elde edilen lave, mikst ve şist ürünlerinin tane boyut dağıtımları ve yıkama karakteristikleri saptanmıştır. Kozlu ve Üzülmez Bölgeleri'nden alınan tuvenan kömür sınıflandırılarak; -80+10 mm ve -10+0.5 mm boyut gruplarında yüzdürme-batırma, -0.5 mm boyutunda ise, Reichert Spirali ile zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, her iki kömür numunesinin de yıkama karakteristiklerinin benzer olduğu belirlenmiş; -80+10 mm boyut grubunda ağır ortam veya jig, -10+0.5 mm boyut grubunda ağır ortam siklonu ve 0.5 mm akında ise. Reichert Spirali ile zenginleştirmenin uygun olduğu saptanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda, Kozlu ve Üzülmez Bölgesi kömürlerinin yıkanması için kuru bazda 250 ton/saat kapasiteli proses akım şeması geliştirilmiştir.

ABSTRACT: For the purpose of enrichment of coal which contains 40% ash, Zonguldak Central Washery was established. Because of coal which contains 60% ash has already cleaned in this washery, this circumstance prevents an effective enrichment. Besides, some units such as flotation unit were out of service after the establishment of the washery. Therefore, product below 0.5 mm is directly used for power plant. In this research, particle size distribution and washing characteristics of feeding coal into the Zonguldak Central Washery from Kozlu and Üzülmez Districts and clean, mixed and tailing coals produced from washery were determined. Run of mine coal from Kozlu and Üzülmez Districts was classified and sink and float experiments in the -80+10 mm and -10+0.5 mm particle size and also Reichert spiral experiments in the -0.5 mm particle size, were performed. At the end of studies, the washing characteristics for both coal samples were found as the similar, the heavy media or jigging for -80+10 mm particle size, heavy media cyclone for -10+0.5 mm particle size and Reichert spiral for -0.5 mm particle size were suitable. At the end of these results, a process flowsheet which has 250 t/h capacities in dry based was developed for washing of Kozlu and Üzülmez District coals.

1 GİRİŞ

Madencilik faaliyetlerinin 160 yılı aşkın bir süredir devam ettiği Zonguldak havzasında yeraltından ve çeşitli bölgelerden üretilen kömürler toplam kapasiteleri 1650 ton/saat olan Zonguldak Merkez, Çalalağzı, Armutçuk ve Amasra Lavvarları'nda yıkanmaktadır.

Zonguldak Merkez Lavvanı kent merkezinde yaklaşık 141.000 m² alan üzerine kurulu kompleks bir tesistir. Kozlu ve Üzülmez Müesseseleri 'nde üretilen tuvenan kömürler Zonguldak Merkez Lavvan'ında yıkanmaktadır. Zonguldak Lavvarı 1950'li yılların teknolojisine göre dizayn edilmiş ve 1957 yılında devreye alınmıştır. Jig sistemi ile 750 ton/saat'lik lavvanın kurulu kapasitesi 1973 yılında 250 ton/saat kapasiteli ağır ortam ünitesi ile 1000

jiglerinden alınan mikst ürünü ise, santral yakıtı olarak kullanılmak üzere karıştırma ünitesine gönderilmektedir (Rapor, 2004).

Bu çalışma kapsamında, Zonguldak Kozlu ve Üzülmaz Bölgesi kömürlerinin yıkanabilirlik özelliklerinin tesbiti ve ideal akım şemasının oluşturulması gerçekleştirilerek; halen Zonguldak Merkez Lavvarı'nda yıkanan Kozlu ve Üzülmaz Bölgeleri kömürlerinden maksimum faydalanma olanaktan araştırılmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Deneyisel çalışmalara esas olan numune, Kozlu ve Üzülmaz Bölgesi'nden Zonguldak Merkez Lavvan'na beslenen tamamı 80 mm altındaki kömür numunesidir. Kozlu ve Üzülmaz Bölgeleri'ne ait olan numunelerin elek analizleri, boyuta göre kül ve nem içerikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Proses akım şemalarının oluşturulurken, her iki bölge kömürleri üzerinde yapılan elek analizi, yüzdürme-batırma ve spiral deneyleri sonuçlarından yararlanılmıştır. -80+10 mm. ve -10+0.5 mm boyut gruplarında yüzdürme-batırma deneyleri gerçekleştirilirken; -0.5 mm boyutunda ise spiral deneyleri yapılmıştır.

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Zonguldak merkez lavvannın performans etüdü

Bu araştırma kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda; Zonguldak Merkez Lavvan'nın iri ve ince yıkama devrelerinin performansı incelenmiştir. Söz konusu devrelerde bulunan Baum ve Acco jiglerinden numuneler alınmış, laboratuvarında bu numunelerle elek analizleri, kül analizleri ve yüzdürme deneyleri yapılmıştır.

Baum jiglerine beslenen ve % 56.2 ile % 65.5 sınırları içinde kül içeren Kozlu ve Üzülmaz bölgesi luvenan kömürlerinden;

- 80+10 mm boyut aralığında; 1.60 ile 1.75 gr/cm³ yoğunluk değerleri arasında girenin % 20'si % 14 küllü temiz kömür olarak üretilmektedir. Malzemenin % 80'i ise % 89 kül içeren atılabilir şist niteliğindedir.

- 10+0.5 mm boyut aralığında; 1.60 gr/cm³ yoğunluğunda girenin % 39'u % 10 kül içerikli temiz kömür ve 1.90 gr/cm³ yoğunluğunda girenin % 53'ü ise % K5 kül içerikli şist ürünü olarak

üretilebilmektedir. Elde edilen mikst miktarı girenin % 8'i olup, % 40 kül içermektedir.

Baum jiglerinden alınan şistlerin kül içeriklerinin % 85'i aştığı ve tamamen atılabilir şist niteliğinde olduğu saptanmıştır. Ayrıca Baum jigi şist elevatörlerinin hemen hemen taşma noktasında tamamen dolu olarak çalıştığı tesbit edilmiştir.

Baum jiglerinden alınan orta ve hafif mikst ürünlerinin 18 mm'den denmesiyle elde edilen ve yıkanmak üzere tekrar Baum jigine verilen +18 mm ürünün yaklaşık % 60'ı -18 mm'lik malzemeyi içermektedir. Genel olarak, +18 mm mikstin tamamına yakını yaklaşık % 85 üstü kül içerikli şisti ihtiva etmektedir. Bu ürünün Baum jigine gönderilmesi, Baum jiginde taş miktarını arttırmaktadır.

18 mm'lik elekten alınan -18 mm orta ve hafif mikst ürünü genelde 1.90 gr/cm³ yoğunluğunda batan şist niteliğindeki malzemeyi temsil etmektedir.

Baum jiglerinden alınan ve +18 mm, -18+10 mm ve -10+6 mm boyut gruplarında olan lave ürünleri ortalama % 14 civarında kül içermektedir.

Lavelerin 1.45 gr/cm³ yoğunluğunda yüzdürülmesi ile. deneye giren malzemenin yaklaşık % 87'si, % 10 kül içerikli temiz kömür ürünü olarak üretilebilmektedir.

-6+0.5 mm boyut gruplarının yıkanmak üzere beslendiği Acco jiglerinde, şist elevatörü hemen hemen boşa çalıştırılmakla olup, evelalörden kayda değer bir ağır ürün gelmemektedir. Acco jiglerine verilen ürünün ortalama kül içeriği % 14.4'dür.

Acco jiglerinin mikst elevatörlerinden alınan ürünlerin ortalama kül içerikleri % 17.8'dir. Acco jiginden alınan lavelerin kül içerikleri ise % 8 ile 10 arasında değişmektedir (Proje, 2004).

3.2 Kozlu ve Üzülmaz bölgesi kömürlerinin yıkanabilirlik özellikleri

3.2.1 Kozlu bölgesi kömürleriyle gerçekleştirilen yüzdürme-batırma deneyleri

Kozlu Bölgesi kömürlerinin -80+10 mm ve -10+0.5 mm boyut gruplarında gerçekleştirilen yüzdürme-batırma deneyleri sonucunda elde edilen yıkama eğrileri Şekil 2 ve 3'te verilmektedir.

3.2.2 Üzülmaz bölgesi kömürleriyle gerçekleştirilen yüzdürme-batırma deneyleri

Üzülmaz Bölgesi kömürlerinin -80+10 mm ve -10+0.5 mm boyut gruplarında gerçekleştirilen yüzdürme-batırma deneyleri sonucunda elde edilen yıkama eğrileri Şekil 4 ve 5'te verilmektedir.

Çizelge 1. Kozlu ve Üzülmez Bölge Kömürlerinin Elek Analizi Sonuçları

	Tane Boyutu, mm	Miktar, %	Kül, %	Toplam Elek		Nem, %
				Altı, %	Üstü, %	
KOZLU	-80+50	3.2	77.7	100.0	3.2	1.50
	-50+18	15.4	76.3	96.8	18.6	1.80
	-18+10	12.9	69.5	81.4	31.5	2.30
	-10+6	9.0	61.1	68.5	40.6	2.70
	-6+0,5	45.8	46.8	59.5	86.4	4.85
	-0,5	13.7	39.8	13.7	100.0	4.85
	Toplam	100.0	55.6			3.77
ÜZÜLMEZ	Tane Boyutu, mm	Miktar, %	Kül, %	Toplam Elek Altı, %	Toplam Elek Üstü, %	Nem, %
	-80+50	2.7	75.1	100.0	2.7	1.90
	-50+18	12.7	67.2	97.3	15.4	2.10
	-18+10	14.1	62.5	84.6	29.6	2.60
	-10+6	12.0	56.1	70.5	41.5	3.00
	-6+0.5	44.3	46.6	58.5	85.8	5.30
	-0.5	14.2	44.2	14.2	100.0	5.30
	Toplam	100.0	53.0			4.16

3.2.3. Kozlu ve Üzülmez bölgesi kömürleriyle gerçekleştirilen spiral deneyleri

Kozlu ve Üzülmez Bölgesi kömürlerine 0.5 mm altında spiral deneyleri uygulanmış; elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 2 ve 3'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kozlu Numunesi ile Yapılan Spiral ile Zenginleştirme Denevinin Sonuçları

Ürünler	Miktar, %	Kül, %	Y. Verim, %
Lave	36.5	10.8	56.1
Mikst	38.3	43.7	37.2
ŞİŞİ	25.2	84.7	6.7
Toplam	100.0	42.0	100.0

Kozlu numunesi ile yapılan spiral ile zenginleştirmede % 36.5 oranında temiz kömür yaklaşık % 56 yanabilir verim ve % 10.8 kül içeriği ile, % 38.3 oranında mikst % 43.7 kül içeriği ve yaklaşık % 37 yanabilir verimle elde edilmektedir. % 25.2 oranındaki şist ise % 84.7 kül içeriği ve yaklaşık % 7 yanabilir verim kaybı ile uzaklaştırılmaktadır. Zenginleştirmede elde edilen temiz kömür metalürjik kok üretiminde, mikst santral yakıtı olarak kullanılabilir niteliktedir ve şist ise kül içeriği açısından atılabilir karakterdedir.

Üzülmez numunesi ile yapılan spiral ile zenginleştirmede % 30.9 oranında temiz kömür yaklaşık % 49 yanabilir verim ve % 8.2 kül içeriği ile, % 44.4 oranında % 41.8 kül içerikli mikst

yaklaşık % 45 yanabilir verimle elde edilmektedir. % 24.7 oranındaki şist ise % 85.4 kül içeriği ve yaklaşık % 6 yanabilir verim kaybı ile uzaklaştırılmaktadır. Zenginleştirmede elde edilen temiz kömür metalürjik kok üretiminde, mikst santral yakıtı olarak kullanılabilir niteliktedir ve şist ise kül içeriği açısından atılabilir karakterdedir.

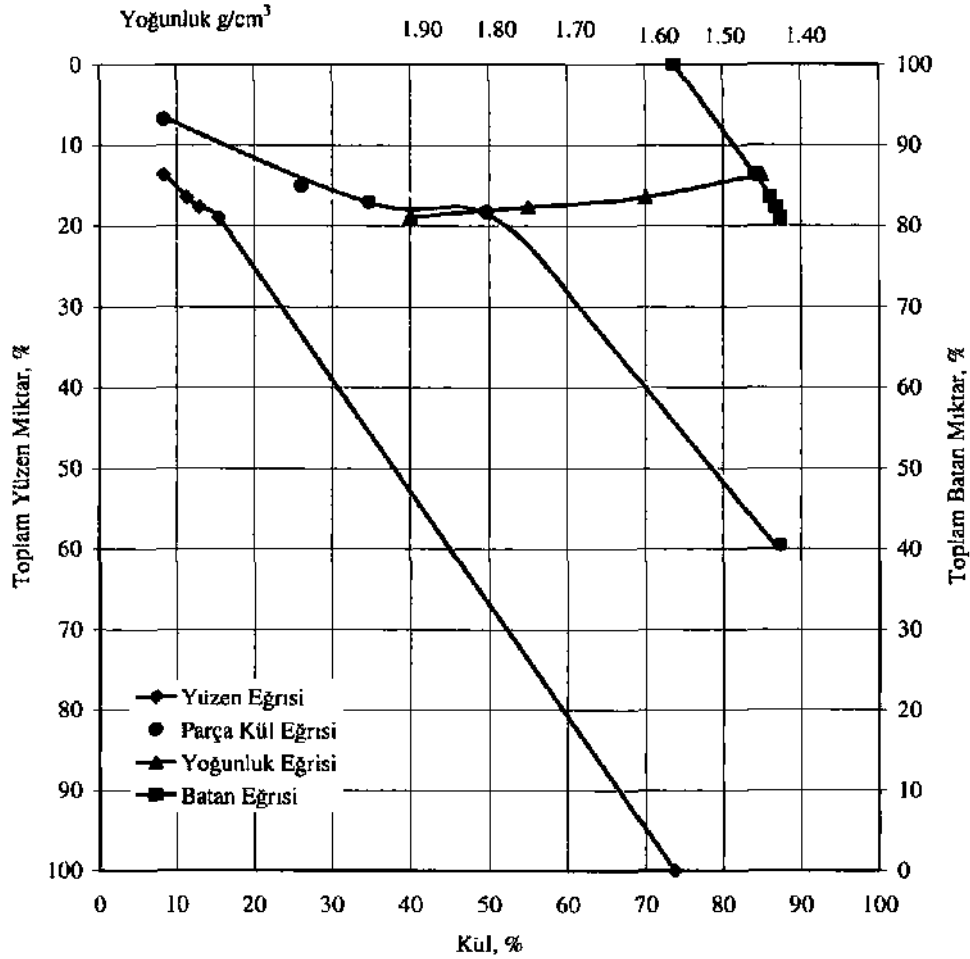
Çizelge 3. Üzülmez Numunesi ile Yapılan Spiral ile Zenginleştirme Denevinin Sonuçları

Ürünler	Miktar, %	Kül, %	Y. Verim, %
Lave	30.9	8.2	49.1
Mikst	44.4	41.8	44.7
Şist	24.7	85.4	6.2
Toplam	100.0	42.2	100.0

Yukarıda belirtilen hususlar kapsamında oluşulardan proseslerin akım şemaları, 250 ton/saat'e göre malzeme dengesini de kapsayacak şekilde, Kozlu Bölgesi için Şekil 6'da; Üzülmez bölgesi kömürleri için Şekil 7'de verilmiştir. Proses akım şemaları oluşturulurken, 10 mm açıklı eleğin eleme verimi %85, 0.5 mm açıklı eleğin eleme verimi de %75 olarak alınmıştır.

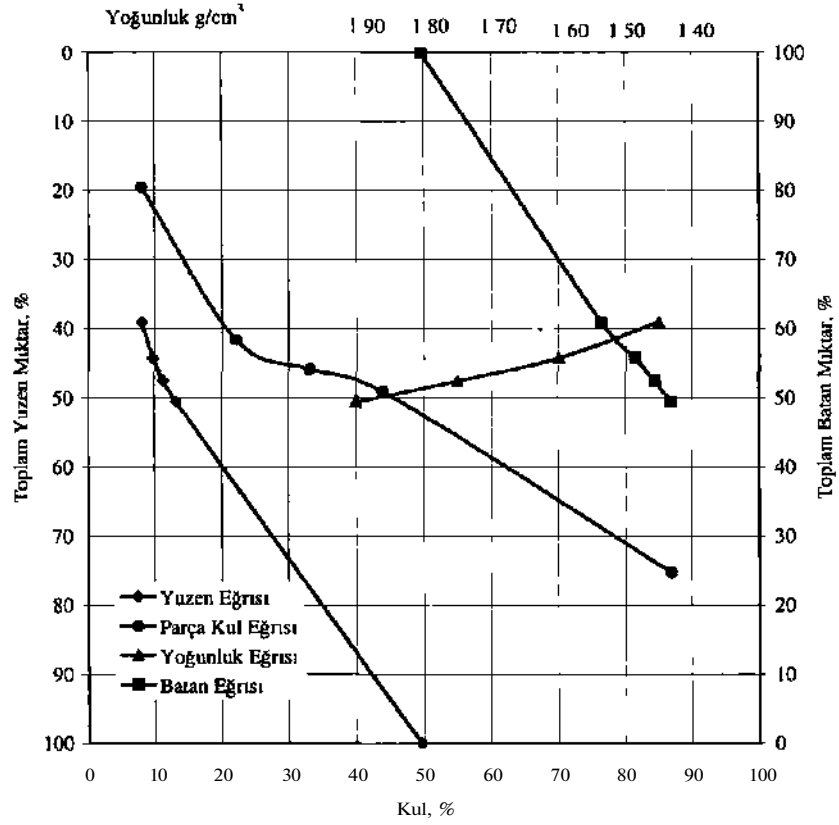
Kozlu ve Üzülmez Bölgesi tuvenan kömürlerine akını şemaları Şekil 6 ve 7'de verilen zenginleştirme prosesleri uygulandığında her boyut aralığında üretilen ürünler loplu halde Çizelge 4'de gösterilmiştir.

KOZLU										
Boyut, mm	Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
		%M	%K	M*K	%ΣM	ΣM*K	ΣK, %	%ΣM	ΣM*K	ΣK, %
-80+10	-1.45	13,7	8,3	113,7	13,7	113,7	8,3	100,0	7372,4	73,7
	+1.45 -1.60	2,8	26,1	73,1	16,5	186,8	11,3	86,3	7258,7	84,1
	+1.60 -1.75	1,2	34,7	41,6	17,7	228,4	12,9	83,5	7185,7	86,1
	+1.75 -1.90	1,3	49,7	64,6	19,0	293,0	15,4	82,3	7144,0	86,8
	+1.90	81,0	87,4	7079,4	100,0	7372,4	73,7	81,0	7079,4	87,4
TOPLAM		100,0	73,7							



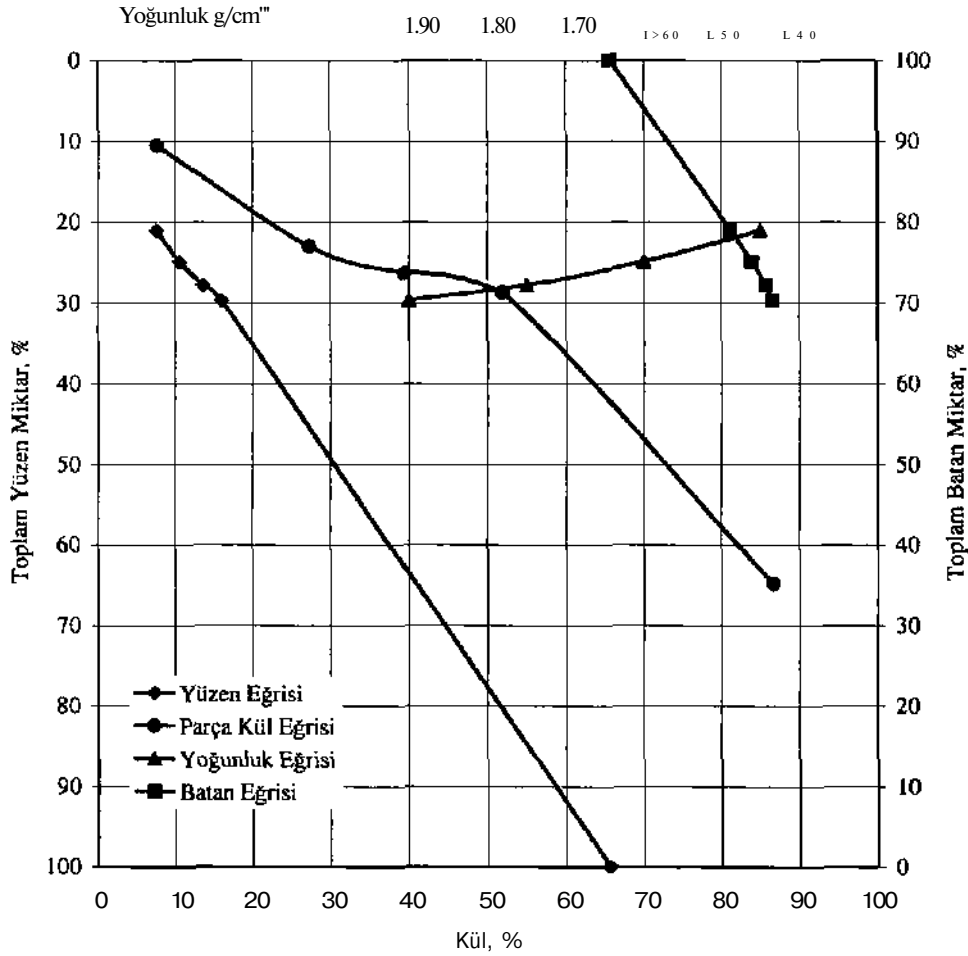
Şekil 2. Kozlu Bölgesi -80+10 mm Boyut Grubundaki Kömürün Yüzdürme Batırma Deneyi Sonuçları

KOZLU										
Boyut, mm	Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındak		Malzeme M*K	Toplam Yüzen			Toplam Batan		
		%M	%K		%ZM	ZM*K	2K, %	%fM	IM*K	IK, %
-10+0,5	-145	39,1	8,0	312,8	39,1	3128	8,0	100,0	4961,8	49,6
	+ i 45-160	5,2	22,1	114,9	44,3	427,7	9,7	60,9	4649,0	76,3
	+160-175	11	31,1	109,2	47,6	537,0	11,3	55,7	4514,1	81,4
	+175-1 90	3,0	44,0	132,0	50,6	669,0	13,2	52,4	4424,9	84,4
	+ 1 90	49,4	86,9	4292,9	100,0	4961,8	49,6	49,4	4292,9	86,9
TOPLAM		100,0	49,6							



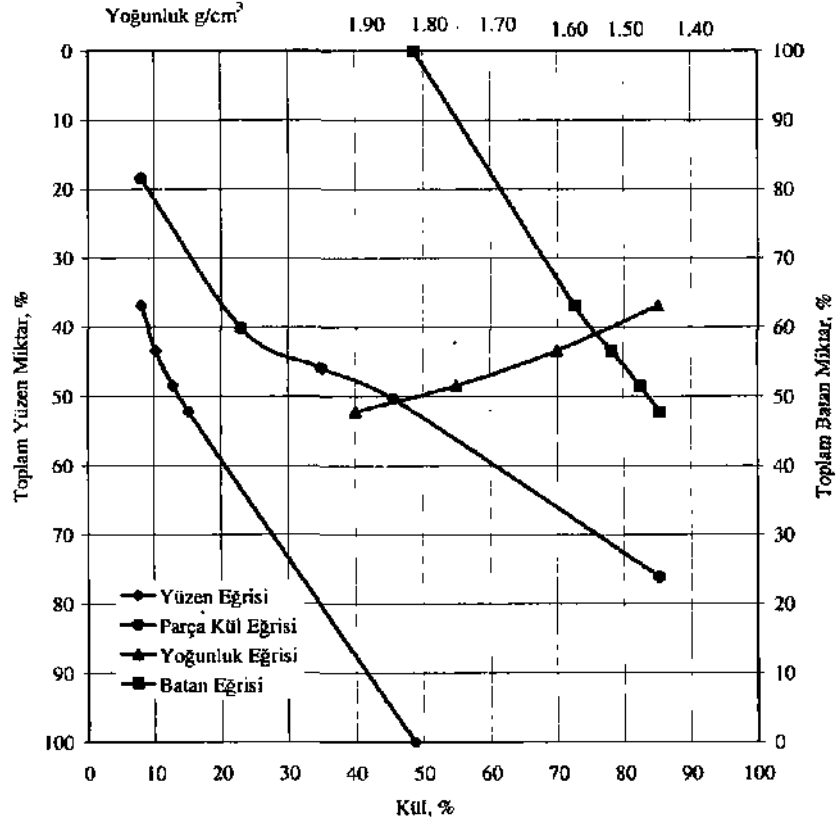
Şekil 3 Kozlu Bölgesi -10+0,5 mm Boyut Grubundaki Komurun Yuzdurme Batırma Deneyi Sonuçları

ÜZÜLMEZ										
Boyut, mm	Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındakı Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
		%M	%K	M*K	%f M	ZM*K	f K, %	%2M	ZM*K	XK, %
-80+10	-1.45	21.1	7,6	160,4	21.1	160,4	7,6	100,0	6565,0	65,6
	+ 1.45-1.60	3,8	27,3	103,7	24,9	264,1	10,6	78,9	6404,6	81,2
	+ 1.60-1.75	2,9	39,4	114,3	27,8	378,4	13,6	75,1	6300,9	83,9
	+ 1.75-1.90	1,9	51,9	98,6	29,7	477,0	16,1	72,2	6186,6	85,7
	+1.90	70,3	86,6	6088,0	100,0	6565,0	65,6	70,3	6088,0	86,6
TOPLAM		100,0	65,6							



Şekil 4. Üzülmöz Bölgesi -80+10 mm Boyut Grabundaki Kömürün Yüzdürme Batırma Deneyi Sonuçları

ÜZÜLMEZ										
Boyut, mm	Yoğunluk Ara Jigj	Yoğunluk Aralığında			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
		%M	s h	M*K	% fM	ZM*K	EK, %	%ZM	XM*K	EK, %
-10+0,5	-1.45	36,9	8,0	295,2	36,9	295,2	8,0	100,0	4870,3	48,7
	+1.45-1.60	6,5	23,0	149,5	43,4	444,7	10,2	63,1	4575,1	72,5
	+1.60-1.75	5,0	35,0	175,0	48,4	619,7	12,8	56,6	4425,6	78,2
	+1.75-1.90	3,8	45,6	173,3	52,2	793,0	15,2	51,6	4250,6	82,4
TOPLAM		100,0	48,7							



Şekil 5. Üzülmöz Bölgesi -10+0,5 mm Boyut Grubundaki Kömürün Yüzdürme- Batırma Deneyi Sonuçları

4 SONUÇLAR VE İRDELEME

Bu çalışma kapsamında, Kozlu ve Üzülmaz bölgelerinden üretilen kömürlerin ayrı ayrı zenginleştirilmeleri çerçevesinde proses akım şemaları saptanmış ve 250 ton/saat kapasiteye göre kuru bazda katı dengesi kurulmuştur.

Lavvarların proses akım şemaları oluşturulurken, aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

- -80+10 mm boyut grubunda % 12-15 küllü parça kömür üretimi,
- -10+0.5 mm boyut grubunda % 9-11 küllü metalurjik kömür üretimi,
- -0.5 mm boyut grubunda % 9-11 küllü metalurjik kömür ve % 47-50 küllü santral yakıtı üretimi
- Tesisten atılacak artıkların kül içeriği kuru bazda en az % 85 değerini taşıması

Söz konusu çalışma grubunda, yukarıda belirtilen hususlar kapsamında oluşturulan proses akım şemaları, 250 ton/saat tesis kapasitesine göre Kozlu ve Üzülmaz bölgesi kömürleri için ayrı ayrı verilmiştir. Oluşturulan akım şemaları, Kozlu ve Üzülmaz bölgesi luvenan kömürlerinin yıkanabilme özelliklerinin birbirlerine benzer olması nedeniyle, tek tip olarak saptanmıştır. Oluşturulan akım şemasına göre; -80+10 mm boyut grubunda ağır ortam veya jig, -10+0.5 mm boyut grubunda ağır ortam siklonları ve -0.5 mm boyut grubunda ise Reichert Spiral üniteleri ideal ayırıcı olarak saptanmıştır.

İki bölgeye ait kömürlerin yüzdürme-batırma özellikleri benzer olduğundan zenginleştirilme prosesleri de aynı özellikleri; halta, iki kömürün malzeme dengesi de birbirine yakın değerler taşımaktadır. Bu olgu, her iki kömürün tek bir lavvarda da zenginleştirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Oluşturulan proses akım şemasına göre, maksimum tane boyutu 80 mm olan kömür 10 mm açıklı titreşimli elekten yıkanarak, elenecektir. -80+10 mm boyut grubunda %12-15 küllü parça kömür üretimi istenildiğinden, bu boyut grubunda % 15 küllü aşmayacak kömür üretiminin ağır ortam ayırması ve jig ile sağlanabileceği yüzdürme-batırma eğrilerinden anlaşılmaktadır. Belirlenen proste, -80+10 mm boyut grubunda, 1.75 g/cm³ yoğunlukla yapılacak ağır ortam ayırmasıyla, ortalama %13 küllü parça kömür üretimi öngörülmüştür. Bu boyut grubunda ağır ortam ayırması için, Drewboy ayırıcısı ya da tambur tipi ayırıcılar kullanılabilir; bunun yanı sıra, jig ile zenginleştirme öngörüldüğü takdirde Baum ya da Batac tipi jiggerler kullanmak mümkündür.

Prosesin 2. aşamasında, -10 mm kömür 0.5 mm açıklı titreşimli elekten yıkanarak, elenecektir. -10+0.5 mm boyut grubunda %9-11 küllü metalurjik kömür üretimi istenildiğinden, ağır ortam siklonlarında 1.60 yoğunlukla yapılacak ağır ortam ayırmasıyla, ortalama %10 küllü metalurjik kömür üretimi öngörülmüştür. Bu boyut- grubunda 1.90 g/cm³ yoğunlukta yapılacak 2. bir ağır ortam siklonu ayırmasıyla da, ortalama %39 küllü termik santral yakıtı ve ortalama %86 küllü artık (şist) üretimi de yapılacaktır. -0,5 mm boyundaki kömür spiral ile zenginleştirmeye tabi tutulacaktır. Spiral ile zenginleştirmenin 1. aşamasında temiz bir arlık atıldıktan sonra elde edilen lavye 2 kademe uygulanacaktır. Her iki kömüre de spiral ile üç aşamalı zenginleştirme uygulandıktan sonra metalurjik kalitede kömür (% 8-11 küllü) ile ortalama % 42,5 küllü termik santral yakıtı elde edilecektir.

Kurulacak lavvarların kömür randımanı ile yanabilir verimleri aşağıda verilmiştir.

Kömür randımanı:

Kozlu bölgesi : % 31.1 (lave), %5.1 (termik santral yakıtı)
Üzülmaz bölgesi : % 34.6 (lave), %6.9 (termik santral yakıtı)

Yanabilir verim:

Kozlu bölgesi : % 66.6 (lave), %6.8 (termik santral yakıtı)
Üzülmaz bölgesi : % 68.5 (lave), %8.7 (termik santral yakıtı)

Kozlu ve Üzülmaz bölgesinde üretilen kömürlerin benzer yıkama özellikleri nedeniyle, oluşturulan proses akım şemaları benzer özellikler taşımaktadır. Her iki bölge üretim kömürlerinin çok kolay yıkanma özelliğinde oldukları saptanmıştır.

Oluşturulan proses akım şemalarına göre;

-80+10 mm boyut grubunda; ağır ortam veya jig üniteleri,
-10+0.5 mm boyut grubunda; ağır ortam siklon ünitesi,
-0.5 mm boyut grubunda; Reichert spiral ünitesi, en ideal ayırıcı ünitesi olarak saptanmıştır.

250 ton/saat kapasite bazında oluşturulan proses akım şemasına göre;

-80+10 mm boyut grubunda;

• -0.5+0.1 mm boyut grubunda;

1.75 gr/cm³ yoğunluğunda gerçekleştirilen yüzdürme deneyinde üretilen ürünler Çizelge 5'de verilmektedir. Bu boyul grubunda miksl ürünü alınmamaktadır.

-0.5+0.1 mm boyut grubunda Reichert Spirali ile gerçekleştirilen deneylerde üretilen ürünler Çizelge 7'de verilmektedir.

• -10+0.5 mm boyut grubunda;

1.60 gr/cm³ ve 1.75 gr/cm³ yoğunluklarında 2 kademede gerçekleştirilen yüzdürme deneylerinde üretilen ürünler Çizelge 6'da verilmektedir.

Gerek Kozlu gerekse Üzülmaz Bölgelerinden üretilen kömürlerden; -80+10 mm boyut grubunda parça kömür, -10+0.5 mm ve -0.5+0.1 mm boyut grubu arında ise metalurjik kömür niteliğinde ürünlerin rahatlıkla üretilebileceği ilgili Çizelgelerden görülmektedir.

Çizelge 5. 1.75 gr/cm³ yoğunluğunda gerçekleştirilen yüzdürme deneyi sonuçları

Kömür Cinsi	Temiz Kömür		Şist	
	Miktar, t	Kül, %	Miktar, t	Kül, %
Kozlu	17.6	12.9	81.7	86.8
Üzülmaz	26.4	13.6	68.4	85.7

Çizelge 6. 1.60 gr/cm³ ve 1.75 gr/cm³ yoğunluklarında gerçekleştirilen yüzdürme deneyi sonuçları

Kömür Cinsi	Temiz Kömür		Mikst		Şist	
	Miktar, t	Kül, %	Miktar, t	Kül, %	Miktar, t	Kül, %
Kozlu	55.5	9.6	7.7	38.3	61.8	86.9
Üzülmaz	56.0	10.3	11.3	39.8	61.2	85.4

Çizelge 7. 1.60 gr/cm³ ve 1.75 gr/cm³ yoğunluklarında gerçekleştirilen yüzdürme deneyi sonuçları

Kömür Cinsi	Temiz Kömür		Mikst		Şist	
	Miktar, t	Kül, %	Miktar, t	Kül, %	Miktar, t	Kül, %
Kozlu	4.8	10.8	4.8	43.7	3.3	84.7
Üzülmaz	4.2	8.2	5.9	41.8	3.3	85.4

TEŞEKKÜR

Söz konusu araştırmanın düzenli bir şekilde yürütülmesinde büyük katkıları olan başta TTK Genel Müdürlüğü yetkilileri olmak üzere Merkez Lavvar Müdürlüğü'ne, Lavvar Laboratuvar Baş mühendis I işi'ne ve tüm personeline şükranlarımızı sunarız.

KAYNAKLAR

Zonguldak Merkez Lavvarının Performans Etüdü ve Kurulması Düşünülen Yeni Lavvarların Prosesi ile Kuruluş Yerlerinin Saptanması, İTÜ Maden Fakültesi Vakfı İktisadi İşletmeleri. Nisan. 2004.
TTK Genel Müdürlüğü Raporları. 2004

Eti Gümüş A.Ş. Liç Prosesinde İstatistiksel Proses Kontrolü Uygulaması

H. Vapur & O. Bayat

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü. Balcalı 01330 Adana, Türkiye

F. Akyol

Eti Gümüş A.Ş., Gümüşköy-Kutahya, Türkiye

ÖZET: İstatistiksel Proses kontrol (İPK) teknikleri belirli periyotlarda veri elde edilen cevher hazırlama tesislerinde üretim kalitesini ve verim artırmada kullanılmaktadır. Böylece zaman kontrolü ve uygulanabilirlik açısından bazı önemli kolaylıklar sağlanmaktadır. Bu çalışmada Eti Gümüş A.Ş. kimyasal çözündürme tesisinden düzenli olarak alınan örneklerin tenor ve Ag kazanma verim değerleri uygulanan prosesin yeterliliğini belirlemek amacıyla incelenmiştir. Her bir parametre için X - R kontrol grafikleri hareketli değişim aralığı yöntemi ile çizilmiştir. Böylece alt ve üst limit değerlerindeki sapmalar belirlenmiştir. Ayrıca spesifikasyon limit değerlerine göre proses yeterlilik indisleri (C_p ve C_{pk}) belirlenmiştir. Özellikle limonit-mangan yapılı cevherin kullanılması tesis verimliliğinde büyük değişimlere neden olmaktadır. Ham cevher miktarları ve tenor değerlerinin uygun harmanlama yöntemleriyle sapmaların önlemek için ayarlanması gerektiği tespit edilmiştir

ABSTRACT: Statistical process control (IPC) techniques are used for mineral processing plants in which data are measured for certain periods to increase recovery and quality of production. Thereby, some important advantages are obtained for time control and applicability. In this paper, grade and recovery values of the samples taken out regularly from leaching plant of Eti Gümüş A.Ş were investigated to determine capability of the process. For each parameter, X-R control charts using moving range method were drawn. Thus, deviations of lower and upper limit values were determined. In addition, process capability indices (C_p ve C^{\wedge}) also were determined for specification limit values. Particularly utilisation of limonite-manganiferrous ore has been caused variations for productivity of the plant. It was observed that quantity of raw ores and grades should be fixed using suitable homogenization methods to prevent deviations

1. GİRİŞ

Kontrol grafikleri tesislerdeki üretilen ürün kalitesini ve normalden aşırı sapma gösteren ve sınır değerleri üzerindeki kontrolsüz durumları belirlemek amacıyla farklı alanlarda kullanılmaktadır. İPK yardımıyla ürünlerdeki istenilen kalite özelliklerine göre anormal değerler belirlenebilir ve bu değerlerin normal sınırlara getirilmesi için gerekli önlemler alınabilir (Milton ve Arnold, 1990). Üretilen bir ürünün satılabilmesi ve kar elde edilebilmesi için uygulanacak kapsamlı çalışmalarda 'mükemmel yedi' olarak isimlendirilen kalite kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar, dal-yaprak yada histogram grafikleri, kontrol tabloları, pareto grafikleri, sebep-sonuç grafikleri, kusur yoğunluğu grafikleri, saçılım grafiğinden ve kontrol grafikleridir (Montgomery, 1997; Breyfogle, 2003).

Eti Gümüş A.Ş. liç tesisi için istatistiksel kalite kontrolü yapılması tesis verimini etkileyen faktörleri belirlemede önemli katkılar sağlayacaktır. Tesiste yıllık 11 ay çalışmakta ve her yıl şubat ayında üretim durdurularak bir ay süreli tamir ve bakım çalışmaları yapılmaktadır. Tüvenan cevher miktarı ise kırıcılar ve değirmenlerin kapasitelerine göre ayarlanmaktadır. Ortalama 180 ± 20 g/ton Ag tenörlü karmaşık yapılı cevher kanşımı harmanlama yapılarak öğütme devresine beslenmektedir. Yılda yaklaşık olarak 800 000 ton/yıl tüvenan cevher zenginleştirilmekle ve yaklaşık 90 ton/yıl saf gümüş metali CCD Merrill-Crowe yöntemi ile üretilerek %99.9 Ag tenoru ile satışa sunulmaktadır (Acarkan, 1997). Açık işletme sahasında farklı metalik mineraller içeren gümüş cevherleşmeleri vardır. Sahada beş ayrı tip gümüş cevheri tespit edilmiştir. Bunların sahadaki rezerv dağılımları; limonit-

mangan %25-35, altere tuf %22-30, silifiye tuf %20-28, pasa %9-13 ve silifiye dolomit %3-5 seviyesindedir (Topkaya, 1980; Bilici ve Akyol, 1999). Cevher çeneli ve konik kırıcılarda kırıldıktan sonra -80 mm'ye indirilmekte ve iki adet seri bağlı bıyalı değirmenlerde $d_w = 0.074$ mm tane boyutuna kadar ortalama %30 katı oranı ile yaş öğütme yapılmaktadır. Tesiste ortalama olarak 1.84 ± 0.11 kg/ton NaCN, 0.43 ± 0.03 kg/ton Zn tozu tüketilmektedir. Ayrıca 0.09 ± 0.02 kg/ton flokulant, 4.64 ± 0.66 kg/ton kireç, 0.49 ± 0.22 kg/ton perlit tozu ve 0.22 ± 0.04 kg/ton $Pb(NO_3)_2$ miktarı vardır. Öğütülen gümüş seri olarak kullanılan 9 adet tankla siyanür lıç ile sıvı taze alınmaktadır. Sıvı fazda bulunan gümüşün ham cevher içerisinde bulunan diğer sülfürlü cevherlerle bileşikler oluşturmasını önlemek amacıyla kurşun nitrat ($Pb(NO_3)_2$) ve pH kontrolü için %20 katı içeren kireç sütü ($Ca(OH)_2$) katılarak koruyucu alkalilik sağlanmaktadır. Ayrıca siyanürleme tanklarına ozülleme verimim artırmak için lıç tanklarının taban kesiminden dakikada ortalama 150 L/m^3 hava verilmektedir. Katı ve sıvı malzeme dengesi otomatik olarak kontrol edilmektedir. Tankların içinde 48 saatlik çözündürme yapılan gümüşün yaklaşık %55-70'ı çözeltiye alınmaktadır. Katı-sıvı ayırma işlemi ters akımlı yıkama ile yapıldıktan sonra Ag yuklu çözelti Zn tozu ile basınçlı filtrelerde çöktürülerek kazanılmaktadır.

1.1. Cevherinin Kimyasal Yapısı ve Çözündürme Verimine Etkisi

Çizelge 1'de görüldüğü gibi özellikle silifiye tuf, limonit-mangan ve dolomitik yapıli cevherlerde Fe, Mn, S, Zn ve Sb içerikli minerallerin fazla olması siyanür ihtiyacını artırmakta ve ozülleme (lıç) verimini düşürmektedir. Ag içeriğinin de yüksek olması nedeniyle verimi en yüksek cevherin çeşidinin pasa tipli cevher olduğu görülmektedir. Besleme mali gümüş tenor içeriği cevher tipine göre değişmektedir.

Kullanılan pasa türü cevher 507 g/ton gümüş içerirken limonit-mangan ve dolomitik cevherlerde ortalama gümüş tenoru 100 g/ton civarına düşmektedir. Cevher içinde siyanürü tüketen özellikle Fe, Sb, Cd, As v.b. gibi siyanit etkisine neden olan metallerin oranının artması gümüş kazanma verimini düşürmektedir. Böylece atık içerisindeki siyanür miktarının yüksek konsantrasyon değerlerinde olmasına neden olmaktadır. Ayrıca cevherin refrakter bir yapıda olması gümüş kazanım verimini ve çözelti içerisindeki siyanür kullanımını da etkilemektedir. Bu durum ise ton cevher başına harcanan NaCN miktarlarında değişimlere ve sapmalara neden olmaktadır (Vapur, 2004). Ayrıca üretilen cevherin yüksek nem içeriğine sahip olması üretim kapasitesini etkileyerek kırma öğütme aşamasında kırıcılar ve değirmenlerde verimsizliklere neden olmaktadır. Tesiste bu amaçla özellikle yaz aylarında ham cevheri serme-kurutma işlemleri yapılmaktadır. Cevherin nem içeriği %15-30'dan %6-7 seviyesine düşürüldükten sonra stok sahasında depolanmakta ve cevher stoğu kuru kalması için su geçirmeyen ince bir silt tabakası ile kaplanmaktadır. Akçakoca ve diğ. (2004) yaptıkları çalışmada işletmede, üretim ve stoklama aşamasında yüksek nemli cevherin nem oranının düşürülmesini incelemişlerdir. Cevherin kurutulması nem oranının düşürülmesi gerektiğini ve tesis verimine olumlu etkisi olacağını göstermişlerdir.

2. MATERYAL ve METOD

Bu çalışmada Eti Gümüş A.Ş. lıç tesisi için 55 aylık süre boyunca ölçümü yapılan aylık tüvenan cevher üretilen konsantre ürün ve tenor verileri kullanılarak istatistiksel proses kontrolü yapılmıştır. Sınır değerlerinin X ve R kontrol grafikleri için ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir. X kontrol grafikleri ortalama değerlerden sapmayı gösterirken, R kontrol grafikleri ise homojenlikten ayrılma değerlerini belirlemek için kullanılmaktadır. Kontrol grafiklerinin çizilmesinde 3 adet sınır değeri

Çizelge 1 Eu Gümüş A.Ş. Cevher Tipleri ve Kimyasal Bileşimi (Vapur, 2004)

Cevher Tipi	Ag g/ton	Au g/ton	Zn	Fe	Cu	Cd	Sb (%)	SiO ₂	BaSO ₄	As	Mn (%)	CaO (%)	Pb (%)	Ni (%)	S
Limonit-Mangan	153	0.003	0.95	25	0.01	0.48	1.19	42.90	10.40	3.27	0.74	148	1.72	0.004	1.92
Allere Tuf	70	0.003	0.21	14	0.02	1.07	0.01	65.90	13.00	0.09	0.45	0.72	0.57	0.003	0.12
Silifiye Tuf	243	0.002	1.72	43	0.01	0.87	0.29	47.40	19.40	0.62	1.66	0.52	148	0.006	2.89
Dolomit	80	0.002	3.66	1.1	0.01	0.02	0.18	13.50	17.20	0.74	1.60	1.22	0.62	0.007	2.70
Pasa	507	0.004	2.64	2.3	0.02	0.02	0.17	44.80	25.60	0.98	1.65	0.78	2.61	0.004	3.76

kullanılmaktadır. Bunlar; Alt kontrol sınır değeri (AKL), üst kontrol sınır değeri (ÜKL) ve orta değer çizgisidir (OL). Kullanılan parametreler; R: değişim aralığı(range), \bar{X} : verilerin ortalaması, R: aralık değerlerinin ortalaması ve \bar{X} eşitlik ortalamalar toplamının ortalamaların sayısına bölünmesidir. Değişim aralığı (range) hesaplanırken alt grup sayısı az olduğu için hareketli değişim (moving range) yöntemi kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{1}{n} \sum X \quad (D)$$

$$MR_2 = X_1 - X_2 \text{ ve } MR_n = X_{n-1} - X_n \quad (2)$$

R kontrol grafik değerlerini belirlemek içinde kullanılan R değeri ise değişim aralıklarının ortalamasıdır ve aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır.

$$\overline{MR} = \frac{MR_1 + MR_2 + MR_3 + \dots + MR_n}{n} \quad (3)$$

Ayrıca kalite kontrolü grafikleri sınır değerlerini belirlemek için D_1 , D_4 ve d_2 değerlerinin bilinmesi gereklidir. Bu değerler Çizelge 2'de verilmiştir. X grafiği için orta değer \bar{X} ve R grafiği için orta değer ise MR değeridir. X ve R kalite kontrol grafikleri ali ve üst sınır değerlerini belirlemek için aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

$$AKL_x = \bar{X} - 3 \frac{MR}{d_2}, \quad ÜKL_x = \bar{X} + 3 \frac{MR}{d_2} \quad (4)$$

$$AKL_R = D_1 \overline{MR}, \quad ÜKL_R = D_4 \overline{MR} \quad (5)$$

2.1. Proses Yeterlilik İndisleri

Proses yeterliliğinin belirlenmesi için C_p ve C_{pk} olarak isimlendirilen yeterlilik İndislerinin belirlenmesi gereklidir. Burada;

$$C_p = \frac{\Sigma \text{Tolerans}}{6\sigma} = \frac{\bar{USL}_x - ASL_x}{6\sigma} \quad (6)$$

$$C_{pk(1)} = \frac{\bar{USL}_x - \bar{X}}{3\sigma} \text{ ya da } C_{pk(2)} = \frac{\bar{X} - ASL_x}{3\sigma} \quad (7)$$

formüleriyle hesaplanır ve C_{pk} olarak en küçük değer alınır. Standart sapma değerini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\sigma = \frac{MR}{d_2} \quad (8)$$

Yeterlilik indisleri hesaplandıktan sonra yorum yapılmalıdır, (i): C_p ve $C_{pk} > 1.33$ ise proses yeterlidir, (ii): $1.33 > C_p$ ve $C_{pk} > 1.00$ ise yeterlilik orta seviyededir ve kabul edilir. Ancak gerekli

düzenleme ve iyileştirmelere ihtiyaç vardır, (iii): C_p ve $C_{pk} < 1.00$ ise proses yetersizdir. Tesiste kullanılan ekipmanlarda ve kullanılan işletme yöntemlerinde zorunlu olarak geniş çaplı yeniliklere ihtiyaç vardır. Kontrol grafikleri çizilirken ölçümlerin zaman aralıkları, ölçüm sayısı seçilen kontrol grafiğine uygun olacak biçimde belirlenmelidir. Alt grup sayısı belirlenirken tesisin çalışma koşulları göz önünde bulundurularak en uygun biçimde belirlenmelidir. Verilerin tesisten alınması sırasında yapılabilecek hatalar göz önünde bulundurulmalı ve yanlış veri girişi engellenmelidir. Üretim kalite ve miktarındaki sapmalar ve hatalar işçilerin dikkatsizliği, iklim şartları, çevherin yapısı, uygulanan yöntem ve donanımların performansı v.b. gibi birçok faktöre bağlıdır. Grafiklerin çizilmesinden sonra belirlenen limit değerlerine göre normal olmayan sapma değerlerinin nedenleri araştırılarak tesisteki farklı üretim birimi personeliyle araştırılmalıdır (Milton ve Arnold, 1990; Grant ve Leavenworth, 1996; Montgomery, 1997; Breyfogle, 2003; Besterfield, 2004).

Çizelge 2. Kontrol grafikleri için katsayı değerleri

n	D_3	D_4	d_2
2	0	3.267	1,128
3	0	2.574	1,693
4	0	2.282	2,059
5	0	2.115	2,326

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Eti Gümüş A.Ş. tesisinden kurulu bulunan kimyasal analiz laboratuvarında yapılan ölçüm sonuçlarına kullanılarak toplam 55 aylık verilere göre belirlenen parametreler için istatistiksel kalite kontrolü analizleri yapılmıştır. Her bir veri iki kez tekrarlı olarak hesaplandığı düşünülürse (n=2) Çizelge 2'ye göre $D_3=0.00$, $D_4=3.236$, $d_1=1.128$ değerleri kullanılmıştır. Tesisle ölçümü yapılan parametreler için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

• Tesis verimi için (%);

$$\bar{X} = \frac{3155.78}{55} \approx 57.38, \quad MR = \frac{219.5}{55} = 3.99$$

$$ÜKL_x = 57.38 + [3(3.99/1.128)] = 67.98$$

$$AKL_x = 57.38 - [3(3.99/1.128)] = 46.76$$

$$ÜKL_R = 3.267 \times 3.99 = 12.98, \quad AKL_R = 0.00 \times 3.99 = 0.00$$

$$\sigma = \frac{3.99}{1.128} = 3.54 \text{ ve } 6\sigma = 21.24, \quad 3\sigma = 10.62 \text{ ise,}$$

$$ÜSL_x = 70.00 \text{ ve } ASL_x = 45.00 \text{ ise}$$

$$C_p = (70 - 45)/21.24 = 1.18, \quad C_{pk(1)} = 1.19, \quad C_{pk(2)} = 1.16$$

• Ham cevher üretimi için (ton/ay);

$$\bar{X} = \frac{3926924}{55} = 71398.62, \quad \overline{MR} = \frac{772386}{55} = 14043.38$$

$$\text{ÜKL}_X = 71398.62 + [3(14043.38/1.128)] = 108748.03$$

$$\text{AKL}_X = 71398.62 - [3(14043.38/1.128)] = 34049.21$$

$$\text{ÜKL}_R = 3.267 \times 14043.38 = 45897.72,$$

$$\text{AKL}_R = 0.00 \times 3.99 = 0.00$$

$$\sigma = \frac{14043.38}{1.128} = 12449.8 \text{ ve}$$

$$6\sigma = 74698.8, \quad 3\sigma = 37349.4 \text{ ise,}$$

$$\text{ÜSL}_X = 91000 \text{ ve } \text{ASL}_X = 50000 \text{ ise}$$

$$C_p = (91000 - 50000) / 74698.8 = 0.55, \quad C_{pk(1)} = 0.52,$$

$$C_{pk(2)} = 0.57$$

- Ham cevher tenörü için (g/ton);

$$\bar{X} = \frac{1093842}{55} = 198.88, \quad \overline{MR} = \frac{651}{55} = 11.84$$

$$\text{ÜKL}_X = 198.88 + [3(11.84/1.128)] = 230.37$$

$$\text{AKL}_X = 198.88 - [3(11.84/1.128)] = 167.39$$

$$\text{ÜKL}_R = 3.267 \times 11.84 = 38.68, \quad \text{AKL}_R = 0.00 \times 11.84 = 0.00$$

$$\sigma = \frac{11.84}{1.128} = 10.50 \text{ ve } 6\sigma = 63.0, \quad 3\sigma = 31.50 \text{ ise,}$$

$$\text{ÜSL}_X = 230 \text{ ve } \text{ASL}_X = 170 \text{ ise}$$

$$C_p = (230 - 170) / 63 = 0.95, \quad C_{pk(1)} = 0.99, \quad C_{pk(2)} = 0.92$$

- Konsantr Ag tenörü için (%);

$$\bar{X} = \frac{3371.25}{55} = 61.30, \quad \overline{MR} = \frac{438.67}{55} = 7.98$$

$$\text{ÜKL}_X = 61.30 + [3(7.98/1.128)] = 82.52$$

$$\text{AKL}_X = 61.30 - [3(7.98/1.128)] = 40.08$$

$$\text{ÜKL}_R = 3.267 \times 7.98 = 26.07, \quad \text{AKL}_R = 0.00 \times 7.98 = 0.00$$

$$\sigma = \frac{7.98}{1.128} = 7.07 \text{ ve } 6\sigma = 42.44, \quad 3\sigma = 21.22 \text{ ise,}$$

$$\text{ÜSL}_X = 75 \text{ ve } \text{ASL}_X = 45 \text{ ise}$$

$$C_p = (75 - 45) / 42.44 = 0.71, \quad C_{pk(1)} = 0.65, \quad C_{pk(2)} = 0.76$$

- Konsantr Ag metal içeriği (kg/ay);

$$\bar{X} = \frac{452225}{55} = 8222.27, \quad \overline{MR} = \frac{109437}{55} = 1989.76$$

$$\text{ÜKL}_X = 8222.27 + [3(1989.76/1.128)] = 13514.13$$

$$\text{AKL}_X = 8222.27 - [3(1989.76/1.128)] = 2930.36$$

$$\text{ÜKL}_R = 3.267 \times 1989.76 = 6500.54,$$

$$\text{AKL}_R = 0.00 \times 7.98 = 0.00$$

$$\sigma = \frac{1989.76}{1.128} = 1763.97 \text{ ve}$$

$$6\sigma = 10583.83, \quad 3\sigma = 5291.91 \text{ ise,}$$

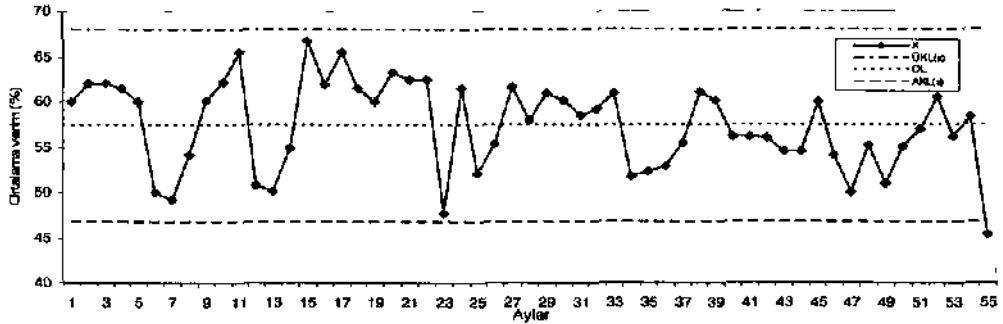
$$\text{ÜSL}_X = 12000 \text{ ve } \text{ASL}_X = 6000 \text{ ise}$$

$$C_p = (12000 - 6000) / 10583.83 = 0.57, \quad C_{pk(1)} = 0.71,$$

$$C_{pk(2)} = 0.41$$

Yapılan bu hesaplamalara göre genel tesis verimi için yeterlilik katsayıları C_p , $C_{p(1)}$ ve $C_{p(2)}$ (1.18, 1.19, 1.16) değerleri >1.00 olduğu için proses yeterlidir ve tesis düşük verimde çalışmaktadır. İncelenen diğer parametreler de (ham cevher üretimi, konsantr Ag tenoru ve konsantr Ag metal içeriği) ise proses yeterlilik indisleri < 1.00 olduğu için yetersizlik saptanmıştır. Ham cevher tenoru indis değerleri ise 1.00'a yakın olduğu için kabul edilebilir.

Tesis genel verimi için X ve R kontrol grafikleri Şekil 1 ve 2'de verilmiştir. Ortalama tesis verimi



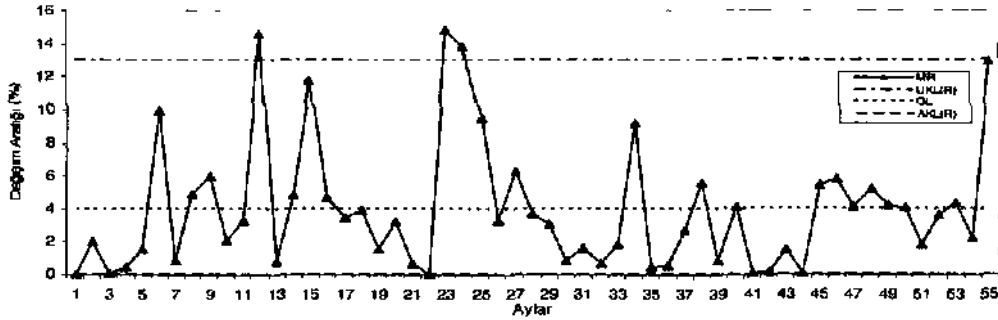
Şekil 1. Liç tesisi verimi için X kontrol grafiği

(%57.38) oldukça düşüktür. Bu nedenle tesis veriminin %65'in üzerine çıkarmak gerekir. Değişim (moving range) aralıklarında da önemli dalgalanmalar vardır. Kontrol limit değerleri 12, 24, 25 ve 55'inci aylarda sınır değerleri aşılmıştır. Şekil 3 ve 4'te ise ham cevher üretimi için kalite

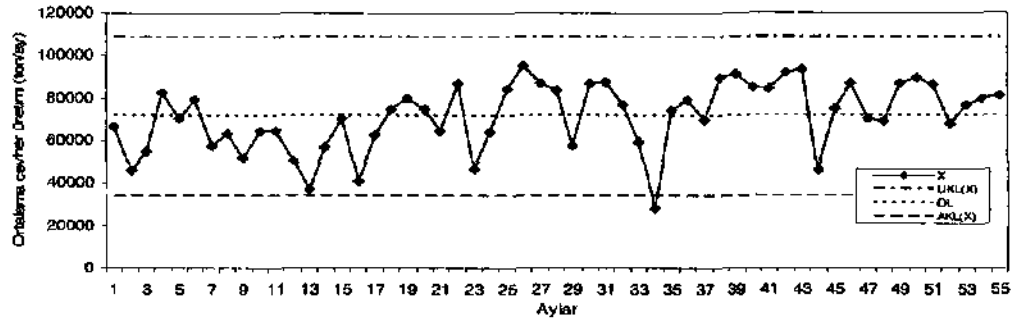
kontrol grafikleri çizilmiştir. Tesiste işlenen aylık ham cevher miktarlarında da önemli dalgalanmalar ve büyük dağılım farkları olmuştur. Buna neden olarak işletmedeki sert iklim şartları ve kırma - öğütme devrelerindeki çıkan arıza ve bant sistemindeki duraksamalar neden olmaktadır. Ham

cevher tenoru için yapılan incelemede dağılım sonuçları Şekil 5-6'da verilmiştir. Cevherin tenoru için özellikle ilk II aylık dönemde R kontrol grafiğindeki ölçüm verileri arasındaki dalgalanma çok yüksektir. Ortalama değerlerde de dalgalanma vardır. Bu nedenle harmanlama çalışmaları

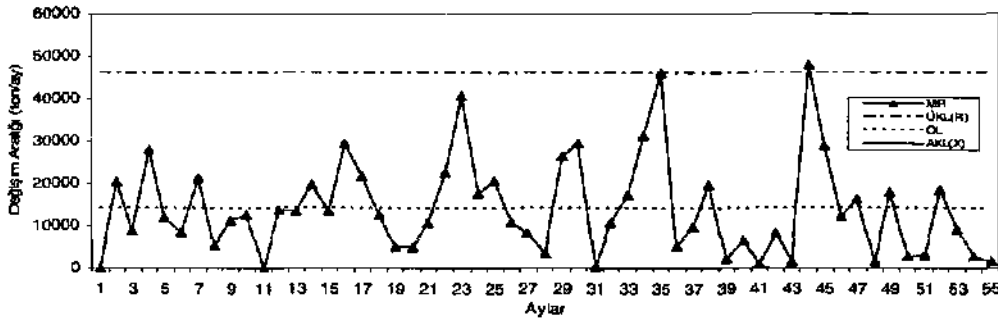
yeniden gözden geçirilip yüksek ve düşük cevherler belirli oranlarda karıştırılmalıdır ve Çizelge 1'de gösterilen düşük ve yüksek Ag lenörlü cevherler arasında uygun bir karışım sağlanmalıdır.



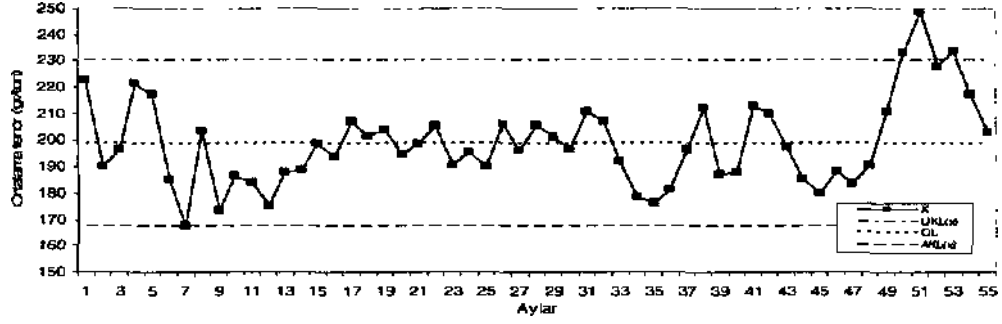
Şekil 2. Liç tesisi verimi için R kontrol grafiği (MR, Moving Range)



Şekil 3. Ham cevher üretimi için X kontrol grafiği



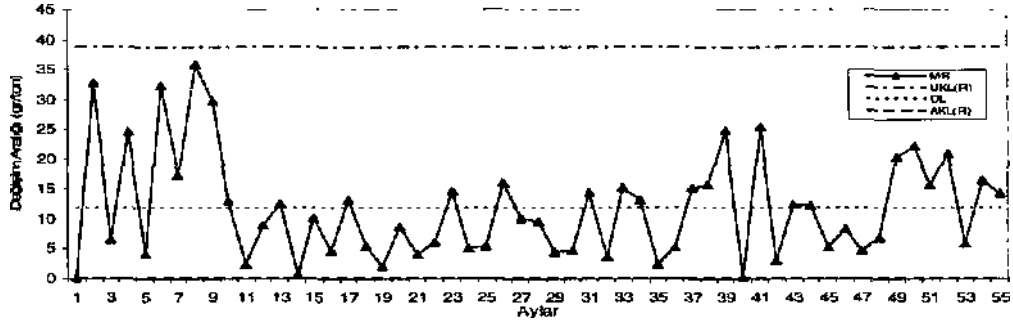
Şekil 4. Ham cevher üretimi için R kontrol grafiği



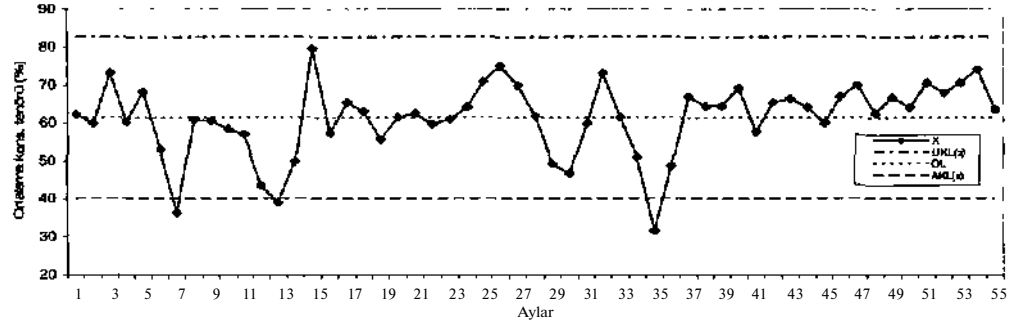
Şekil 5. Ham cevher Ag tenörü (g/ton) için X kontrol grafiği

Çünkü incelenen tüm parametreler arasında da etkileşim söz konusudur. Cevher tenöründeki farklılaşmalar tesis veriminde ve konsantre metal içeriğinde de değişimlere neden olmaktadır. Şekil 7-8'de ise tesiste elde edilen kaba konsantredeki gümüş tenör değişimleri X-R kontrol grafiklerinde sırasıyla gösterilmiştir. Kaba konsantre gümüş tenörleri ortalama olarak 7, 13 ve 35'inci aylarda

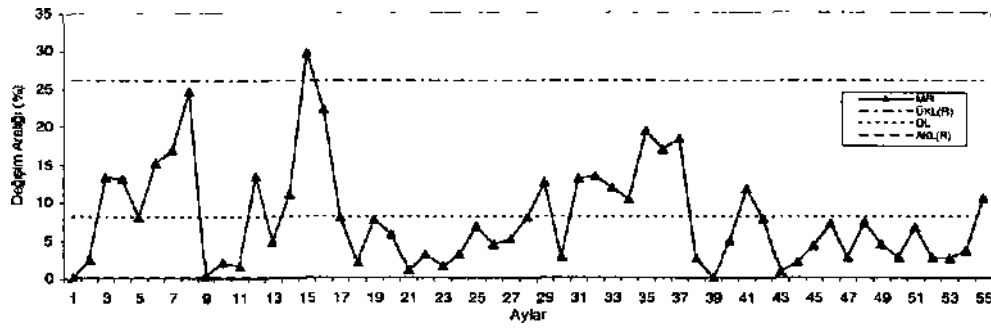
sınır değerlerinin altına düşmüştür. Değişim aralıklarında da önemli dalgalanmalar vardır. Kimyasal çözündürme (leaching) tesisinden çıkan kaba gümüş konsantresi içerisindeki gümüş metal ağırlıkları için çizilen X-R grafikleri Şekil 9-10'da verilmiştir. Şekil 9'da ve Şekil 10'da görüldüğü gibi elde edilen



Şekil 6. Hara cevher tenörü için R kontrol grafiği



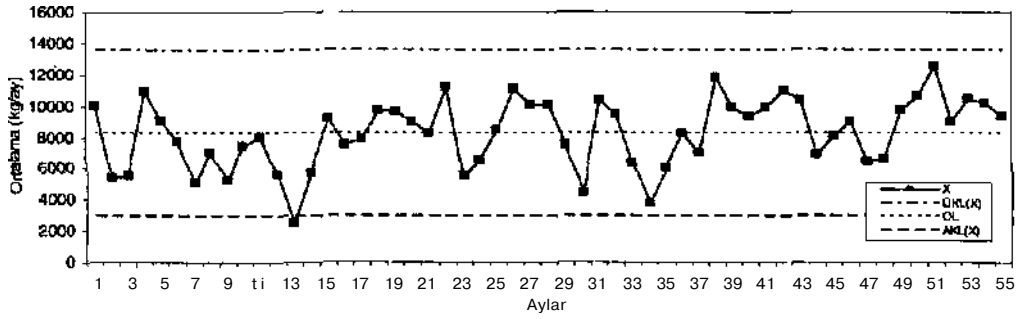
Şekil 7. Konsantre %Ag tenörü değişimi X kontrol grafiği



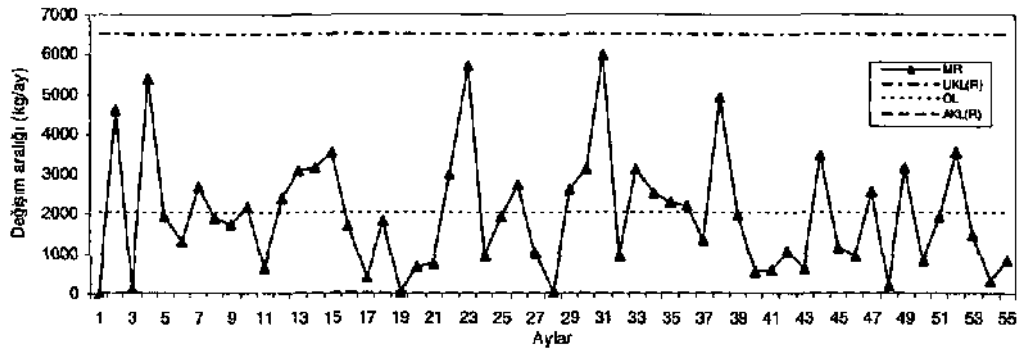
Şekil 8. Konsantrde %Ag tenora değışimi R kontrol grafiği

konsantrdeki gümüş metal içeriklerinde de önemli dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Özellikle değışim aralığındaki (moving range) değeriinde 2, 5, 23, 28, 31 ve 39'uncu aylardaki metal miktarlarında değışim farklılıklarında yükselmeler görülmüştür.

Ayrıca hesaplanan spesifikasyon indis değeriinin 1.00'in altında olması da Zn tozu ile çöktürme ünitesinde yenileme çalışmalarının gerekliliğini göstermiştir,



Şekil 9. Konsantrde Ag metal içeriği (kg) X kontrol grafiği



Şekil 10. Konsantrde Ag metal (kg) içeriği R kontrol grafiği

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma göstermiştir ki işletmede elde edilen verim istenilen değerinde değildir. Bu nedenle karlılık oranını yükseltmek ve yeterlilik indisleri değerlerinin 1.33'ün üzerine çıkarılması gerekir. İncelenen parametrelerde (cevher üretim miktarı ve cevher tenörü, konsantrasyon Ag tenoru ve konsantrasyon Ag metal içeriği) proses yeterlilik indisleri < 1.00 olduğu için tesiste çalışan kırıcılar, değirmenler, üç tankları, izabe öncesinde çinko ile çöktürme birimleri ve tükürlerden atık barajına olabilecek metal kaçıkları kontrol edilmelidir. Kullanılan donanımların yenileme ile bakımdan geçirilmesi gerekli görülmektedir. Özellikle pas turlu cevherin yüksek lenorlu olması ile limonit-mangan ve dolomitik cevherlerin gümüş lenörlerinin düşük olması ve çözeltiye alma verimlerinin nispeten düşüklüğü nedeniyle (Bayat ve diğ., 2003) ortalama 198.88 g/ton Ag tenörlü luvenan cevherin liç işleminden geçirildikten sonra ortalama 87 g/ton Ag içeren kısmı artık barajına kazanılmadan gönderilmektedir. Tuvenan cevher tenoru için yeterlilik indis değeri ise yaklaşık 1.00'e yakın olduğu için yeter kabul edilebilir. Ancak en uygun harmanlama yöntemlerinin kullanılması ile tuvenan cevher tenöründeki yükselme ve alçalmalar önlenmelidir. Ayrıca, liç işleminde en uygun reaktif miktarlarının da yeniden belirlenmesi tesis verimini artırmak için faydalı olacaktır. Kimyasal çözündürme verimini artırmak amacıyla kırma ve öğütme aşamasından sonra halen işletmede uygulanmayan kavurma, basınç altında oksitleme, basınç altında klorlu oksitleme veya biyolojik oksitleme yöntemlerinin kullanılması tesis verimini artırmada önemli katkılar sağlayabilir. Böylelikle normalde siyanürlü çözeltiye geçmesi zor olan Limonit-Mangan'lı gümüş cevherlerinden liç verim artışı sağlanacaktır. Tesiste siyanür üç çözeltisinden Ag'nin kazanılmasında mevcut prosese (Merrill-Crowe) alternatif olarak solvent ekstraksiyon veya karbon adsorplama proseslerinin (Grosse ve diğ., 2003; Mambote ve diğ., 2000; Chen ve diğ., 1986; MacKenzie ve diğ., 1995; Lasko ve Hum, 1999) uygulanması da bazı avantajlar sağlayacaktır. Tesiste halihazırda değirmen çıkışı öğütülmüş cevher tane boyutu $d_{50} = 0.074$ mm'dir. Newmont Mining Corporation (2004) yaptıkları çalışmada Kalgoorlie altın madeninde çok ince öğütme başarı ile uygulamaktadır ve %90 oranında genel tesis kazanma verimine ulaşmıştır. Cevherin daha ince tane boyutuna öğütülmesi ve ortalama tane boyutunun $d_{50} < 0.050$ mm'ye indirilmesi siyanür liç tesisi gümüş kazanma verimini artırabilir. Ham

cevher açık işletmeden çıkarılıp kurutulduktan sonra stok sahasında yığın halinde depolanmaktadır. Ancak farklı cevher türlerinin harmanlanmasında ve homojenleştirme işleminde yetersizlikler görülmektedir. İstatistiksel proses kontrolü yöntemleriyle verilerin analizi, olabilecek anormal veri sapmalarının nedenlerini araştırmada ve bulmada kolaylıklar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Akçakoca, H. Akdaş, H., Uysal, O., 2004 Etibank 100. yıl Gümüş Madeni İşletmesi'nde nem kontrolü ve cevher stoklanması. Madencilik. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi, 43(3): 39-46
- Acarcan N., 1997. Altın ve gümüş üretiminde modern yöntem: siyanür prosesi. Alim Madencilik ve Çevre, Yurt Madencilik Geliştirme Vakfı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası ve Anadolu Madencileri Demeği. 63-77.
- Bayat, O., Vapur, H., Akyol, F., Poole, C., 2003 Effects of oxidising agents on dissolution of Gumuskoy silver ore in cyanide solution, Minerals Engineering, 16: 395-398
- Besterfeld, D.H., 2004. Quality control, 7th ed Pearson Prentice Hall, 173-233.
- Bırcı, U., Akyol, F., 1999; Hidrojen Peroksidin refrakter tip gümüş cevherlerinin siyanür liç verimi üzerindeki etkisi. Madencilik, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi. 38(1): 3-11
- Breytogle, F.W., 2003. Implementing six sigma, 2nd ed John Wiley & Sons Inc. Canada, 219-230
- Chen, J., Deng, T., Zhu, G., Zhao, J., 1996 Leaching and recovery of gold in thiosulfate based system—a research summary at ICM Trans. Indian Inst Met. 49 (6), 841- 849
- Grant, E.L., Leavenworth, R. S., 1996. Statistical quality control, 7th ed. McGraw-Hill Co., USA 35-116.
- Grosse, A. C., Dicoski, G. W., Shaw, M. J., Haddad, P. R., 2003 Leaching and recovery of gold using ammoniacal thiosulfate leach liquors (a review), Hydrometallurgy 69: 1-21
- Lasko, C.L., Hurst, M.P., 1999 An investigation into the use of chitosan for the removal of soluble silver from industrial wastewater. Environ. Sci. Technol. 33 (20), 3622-3626
- MacKenzie, J.M.W., Vimig, M.J., Johns, M.W., 1995. Henkel Aurix(R) resin—an update Randol Gold Forum '95 Perth. West Australia
- Mambote, R. C. M., Reuter, M. A., Krijgsman, P., Schulung, R. D., 2000. Hydrothermal Metallurgy An Overview of Basic Concepts and Applications. Minerals Engineering. 13 (8-9), 803-822.
- Milton, J.S., Arnold, J.C., 1990. Introduction to probability and statistics, McGraw Hill-3rd Edition, 683-691.

- Montgomery, D. C, 1997; Introduction to statistical quality control, 3^m ed. John Willey & Sons Inc., Canada. 179-186.
- Newmont Mining Corporation, 2004. Kalgoorlie (Australia), www.newmont.com/en/operating/australia/kalgoorlie/index.asp.
- Topkaya, A. Y., 1980; Kütahya Güniüşköy Ag-Pb-Zn-BaSO₄ complex cevherlerinden gümüş ve diğer ürünlerin elde edilebilirliğinin araştırılması. Ara rapor. Eti Gümüş A.Ş. İşletmesi (arşivi).
- Vapur H., 2004. Gümüş tesisi atıklarından siyanürün geri kazanımının araştırılması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi. No: 798.. 85-94.

