

MİHALIÇÇIK SERT KAOLİNİ ZENGİNLEŞTİRME ÇALIŞMALARI
Beneficiation Studies of Mihaliççık Non-Dispersive Kaolinite

İsmail GİRGİN (*)
Zaflr EKMEKÇİ <>**
Fatih ERKAL <>**

Anahtar Sözcükler: Sert kaolin, öğütme, sınıflandırma, manyetik ayırma.

ÖZET

Eskişehir (Mihaliççık) yöresinden sağlanan sert kaolin (% 73 SiO₂, % 0,64 Fe₂O₃) numunesi, boyut küçültme işlemini takiben tane boyu fraksiyonlarına ayrılmış ve -0.038 mm'lik fraksiyonun seramik endüstrisinde kullanılabilir nitelik taşıdığı gözlenmiştir. Boyut küçültme koşullarının optimizasyonunu takiben, siklon ve yüksek alanlı yaş manyetik ayırıcı kullanılarak zenginleştirme deneyleri yapılmış ve ürünün Fe₂O₃ içeriği % 0,37'ye düşürülmüştür. Sonuçta optimum koşullar dikkate alınarak bir akım şeması önerilmiştir.

ABSTRACT

Non-dispersive type kaolinite sample (% 73 SiO₂, % 0.64 Fe₂O₃) obtained from Eskişehir (Mihaliççık) region was separated into fractions after size reduction and it was observed that -0.038 mm sized fraction was suitable for use in ceramic industry. After optimizing size reduction conditions, cyclone and high intensity wet magnetic separator were used for concentration purposes and the Fe₂O₃ content of the product was decreased to 0.37%. A flowsheet based on the optimum conditions of the experimental results was proposed.

* Prof. Dr., H.U.Maden Müh.Böl. 06532 Beytepe/ANKARA

** Araştırma Görevlisi, H.Ü. Maden Müh. Böl. 06532 Beytepe/ANKARA

1. GİRİŞ

Önemli endüstriyel minerallerden birisi olan kaolin; porselen, seramik, cam, kâğıt, boya, kauçuk, çimento, yağ, ilaç vb. çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. (Ampian, 1985). Ülkemizde, nitelikli yatakların giderek azalmasının ortaya çıkardığı hammadde darboğazından dolayı, düşük kaliteli yatakların zenginleştirme çalışmaları önem kazanmaktadır.

Kaolin zenginleştirilmesi, üründe aranan niteliklere bağlı olarak farklı işlemler gerektirmekle birlikte bu amaçla suda dağıtma, sınıflandırma, beyazlaştırma, magnetik ayırma, flotasyon, flokülasyon ve kalinsasyon gibi işlemlerden yararlanılmaktadır (Asdell, 1976; Conley ve Llyod, 1970; Robinson ve Marston, 1975; Coope, 1979; Defoe, 1985; Güler ve Böke, 1985). Zenginleştirme işlemleriyle renk verici ve diğer fiziksel özelliklere etki eden safsızlıkların uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Bazı durumlarda, kaolinin organik ortamlardaki (kauçuk, boya, plastik vb.) dağılılırılığını artırmak için yüzey özelliklerini değiştirici işlemlere de başvurulmaktadır.

Suda dağılılırabilir nitelikteki kaolinlerde zenginleştirme çalışmalarının nispeten kolay olmasına karşılık, suda dağılırılmayan (sert) kaolinlerde sorunlarla karşılaşmakta ve uygulanabilir yöntemlerden çoğu kez olumlu sonuçlar alınamamaktadır (Bozdoğan vd., 1983). Bu çalışmada, silis ve demir içeriği yüksek ($SiO_2 = \% 73$, $Fe_2O_3 = \% 0,64$) Eskişehir (Mihalıççık) yöresi sert kaolinlerinin boyut küçültmeyi takiben hidrosiklon ve yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma yöntemleri kullanılarak zenginleştirilebilir olanakları araştırılmıştır.

2. NUMUNE ALMA VE İNCELEME

2.1. Numune Alma ve Hazırlama

Mihalıççık' ta Çitosan' a ait kaolin çalışma sahasında üretim yapılmakta olan aynada yedi oluk açılmış ve ayıklama yapılarak sahadan yaklaşık 15 ton malzeme alınmıştır. Düz bir alana yığılan malzeme, kepçe ile iki kısma ayrılmış ve ayrılan kısımlardan bir tanesi dörtleme yolu ile yaklaşık 500 kg' a

azaltılmıştır. Konileme-dörtleme yöntemi ile malzeme miktarı 125 kg' a indirilmiş ve çeneli kırıcıdan geçirilerek -4 mm tane büyüklüğüne indirilmiştir. Boyu küçültülen malzeme, deneylerde kullanılmak üzere, çapraz oluklu bölücü ile azaltılarak yaklaşık 2 kg' lık numuneler halinde torbalanmıştır. Ocaktan alınan temsili numunelerden mümkün olduğunca birbirine benzemeyen parçalar arasından, mineralojik analiz numuneleri seçilmiştir.

2.2. Numunelerin Kimyasal Bileşimi

Deneylerde kullanılan numunenin kimyasal analiz sonucu Çizelge 1' de verilmektedir.

Çizelge 1. Mihalıççık Sert Kaolin Numunesi Kimyasal Bileşimi (%)

Bileşim	Miktar, %
Al_2O_3	18,76
SiO_2	73,26
FeO_3	0,64
TiO_2	0,09
Ca_2O	0,34
Na_2O	0,50
K_2O	0,46
A.K.	7,20

2.3. Numunelerin Mineralojik Bileşimi

Mineralojik analiz için ayrılan numuneler üzerinde yapılan incelemeler ana bileşenlerin tamamen kil minerallerine dönüşmüş mineraller (büyük olasılıkla fel-dispat), kuvars ve psodomorflar biçiminde az miktarda serpantin grubu minerallerden (kısmen antigorit) oluştuğunu göstermektedir. Tali mineraller ise pigment, kriptokristalin ve bazıları da 0,5 mm tane boyunda psodomorflar biçiminde demir oksihidroksitlerdir (limonit). Kayaç birincil kuvarslardan başka, kuvars damarcıkları da içermektedir. Geniş ölçüde mekanik kırılmalar gösteren kuvarslardan kristal ve agregatlarının boyları kriptokristalin ile 3,5 mm arasında değişmektedir.

Su ile süspansiyon haline getirmeyi takiben dekantasyon yolu ile ağır ve hafif olmak üzere iki kısma ayrılan örnekler

üzerinde yapılan X-ışını difraksiyonu analizleri numunede kil ve kuvars olduğunu göstermektedir. Hafif olan kısımda kil/kuvars oranı yaklaşık 1/1, ağır olan kısımda ise kibkuvars şeklindedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Boyut Küçültme ve Sınıflandırma

Mineralojik analiz sonuçları dikkate alındığında numunedeki kuvars ve diğer mineraller arasındaki sertlik farkından yararlanarak boyut küçültme yolu ile ince tane boyu fraksiyonlarında bir zenginleştirme olabileceği kanısı uyanmaktadır. Bu amaçla, -4 mm' lik deney numunesi merdaneli kırıcıda önce -2 mm' ye indirilmiş ve daha sonra da demir kirlenmesini önlemek amacıyla seramik değirmende 0.295 mm' nin altına öğütülmüştür. Öğütülmüş numunenin elek fraksiyonlarının kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Öğütülmüş Mihaliççık Sert Kaolin Deney Numunesinin Elek Analizi ve Fraksiyonların Kimyasal Bileşimi

Elek Açıklığı (mm)	% Ağırlık	Birikimli Elekalıtı (%)	Birikimli Eleküstü (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)
+0,208	32,24		32,24	7,25	89,33
-0,208+0,147	11,76	67,76	44,00	14,68	77,65
-0,147+0,104	10,84	56,00	54,84	18,21	71,36
-0,104+0,074	10,38	45,16	65,22	16,68	7258
-0,074+0,053	13,24	24,78	78,46	22,07	68,06
-0,053+0,043	8,24	21,54	86,70	24,97	61,81
-0,043+0,038	4,72	13,30	91,42	26,98	61,08
-0,038	8,58	8,58	29,48	29,48	58,35

Çizelge 2' den açıkça anlaşılacağı gibi -0,038 mm'lik fraksiyonda bir hayli zenginleşme olmaktadır. Buna karşılık +0,208 mm' lik fraksiyon çok büyük ölçüde kuvars içermekte ve artık olarak değerlendirilmesi mümkün görülmektedir. İnce taneli malzeme miktarını artırmak amacıyla -0,295 mm boyundaki numune sırasıyla 0,208 mm ve 0,038 mm'lik eleklerden geçirilerek +0,028 mm'lik fraksiyon artık olarak atılmış ve -0,038 mm' lik fraksiyon da konsantr olarak ayrılmıştır. -0,208+0,038 mm'lik fraksiyon ise üç kısma ayrılarak herbiri -0,124 mm, -0,089 mm ve -0,061 mm olacak şekilde seramik değirmende üç farklı öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Numuneleri söz konusu tane büyüklüklerine indirmek için sırasıyla 45,60 ve 105 dakika süreyle öğütülmüştür.

Öğütme işleminden sonra her numuneye yaş elek analizi uygulanmış ve her fraksiyon Al₂O₃ ve SiO₂ içerikleri bakımından incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 3, Çizelge 4 ve Çizelge 5'te verilmektedir.

Bu deney sonuçları, Mihaliççık sert kaolin numunesinin yaklaşık % 60'ının -0,038 mm olacak şekilde bir boy küçültme işlemine tabii tutulması ve daha sonra da uygun bir yöntemle -0,038 mm'lik kısmın ayrılabilmesi durumunda yaklaşık % 28 Al₂O₃ ve % 60 SiO₂ içeren bir ürün kazanımının mümkün olabileceğini göstermektedir.

Çizelge 3. -0,208+0,038 mm'lik Numunenin -0,124 mm' ye Öğütülmesi Sonucu Elde Edilen Malzemenin Elek Analizi ve Fraksiyonların Kimyasal Bileşimi.

Elek Açıklığı (mm)	% Ağırlık	Birikimli Elekalıtı (%)	Birikimli Eleküstü (%)	Al ₂ O ₃ (%) ³	SiO ₂ (%)
+0,104	4,57		4,57	7,21	88,84
-0,104+0,074	10,34	95,43	14,91	10,59	83,70
-0,074+0,053	6,11	85,09	21,02	13,90	79,42
-0,053+0,043	8,98	78,98	30,00	13,96	79,02
-0,043+0,038	3,52	70,00	33,52	14,02	76,93
-0,038		66,48		26,29	59,76

Çizelge 4. -0,208+0,038 mm'lik Numunenin -0,89 mm' ye Öğütülmesi Sonucu Elde Edilen Malzemenin Elek Analizi ve Fraksiyonların Kimyasal bileşimi.

Elek Açıklığı (mm)	% Ağırlık	Birikimli Elekalıtı (%)	Birikimli Eleküstü (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)
+0,074	5,83		5,83	4,61	91,43
-0,074+0,053	5,32	94,17	11,15	8,73	85,15
-0,053+0,043	8,31	88,85	19,46	10,41	82,33
-0,043+0,038	4,97	80,54	24,43	12,09	80,52
-0,38	75,77	75,57		27,08	60,72

Çizelge 5. -0,208+0,038 mm'lik Numunenin -0,061 mm' ye Öğütülmesi Sonucu Elde Edilen Malzemenin Elek Analizi ve Fraksiyonların Kimyasal Bileşimi.

Elek Açıklığı (mm)	% Ağırlık	Birikimli Elekalıtı (%)	Birikimli Eleküstü (%)	Al ₂ O ₃ (%) ³	SiO ₂ (%)
+0,053	6,40		6,40	4,96	90,82
-0,053+0,043	5,81	93,60	12,21	7,34	88,31
-0,043+0,038	4,43	87,79	16,64	9,72	85,48
-0,038	83,36	83,36		27,47	60,25

3.2 Manyetik Ayırma

Mineralojik analiz sonuçları numunede demir minerallerinin (limonit) bulunduğunu göstermektedir. Manyetik özellik gösteren minerallerin ayrılması amacıyla yönelik olarak -0,208 mm tane boyuna indirilmiş numune ile CARPCO yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcıda bir ön deneme yapılmıştır. Bu deneyle 6,5 mm çapında bil-yalar kullanılmış ve 0-3 Tesla alan şiddeti aralığında çalışılmış ve düşük alan şiddeti (<1 Tesla) ve yüksek alan şiddetinde (1-3 Tesla) olmak üzere iki ayrı manyetik ürün elde edilmiştir. Manyetik ayırma deney sonuçları Çizelge 6' da verilmektedir.

Çizelge 6. CARPCO Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcıda Yapılan Deney Sonuçları.

Numune	Ayırma Alan Şiddeti (Tesla)	Fraksiyon FeO ₂	
		Miktarı %	%
Manyetik-1	<1	0,53	6,71
Manyetik-2	1-3	0,51	44,36
Manyetik olmayan -		98,96	0,37

Elde edilen sonuçlar numunenin demir içeriğinin % 0,64 değerinden % 0,37 Fe₂O₃ değerine düşürülebilmesi için yüksek alan şiddetinde ayırma yapmak gerektiğini göstermiştir.

3.3. Hidrosiklon ve Manyetik Ayırma Deneyleri

Bu bölümde, kırmada bir seçimlilik sağlamak amacıyla, ocak çıkışı numune çekiçli kırıcıda 5 mm' nin altına kırılmış- ve daha sonra da merdaneli kırıcıda 2 mm' nin altına indirilmiştir. -2 mm' lik numune seramik değirmende yaklaşık 30 dakika süre ile öğütme işlemine tabi tutulduktan sonra +0,208 mm' lik kısım artık olarak atılmış ve - 0,28 mm' lik kısım 105 dakika süreyle tekrar öğütme işlemine tabi tutularak numune 0,061 mm' nin altına indirilmiştir. Bu malzemenin tane boyu dağılımı Coulter Counter Industrial Model-D ile belirlenmiş ve daha sonra da hidrosiklon deneylerinde kullanılmıştır.

Hidrosiklon ile yapılan ayırma deneyinde bölümümüzde mevcut 30 mm çaplı Pyrex hidrosiklon kullanılmış olup, söz konusu hidrosiklonun özellikleri aşağıda verilmektedir.

D _c (Hidrosiklon çapı)	= 30 mm
D _i (Besleme giriş çapı)	= 6 mm
D _o (Üst akım çıkış çapı)	= 8,4 mm
D _u (Alt akım çıkış çapı)	= 3 mm
h (Alt akım çıkışı ve girdap oluşturucunun alt noktası arasındaki uzaklık)	= 83 mm

Çizelge 7. % 30 Katı İçeren Besleme ile Hidrosiklonda Yapılan Deneyin Verileri.

Elek Açıklığı (mikron)	Besleme (m _i) %Ağ.	Alt akım (m _u) %Ağ.	Üst Akım (m _o) %Ağ.	Besleme Alt ak. (A)	%Ağ Üst ak. (B)	Ortalama Tane Boyu um	Beslemenin Üst Akıma Giden Miktarı, % (A+B)	Beslemenin Alt ve Giden Akıma Giden Miktarı, % (Y)
-61,00+53,00	10,35	59,26		34,50			34,50	100,00
-53,00+43,00	1,40	8,02	-	4,67	-	48,00	4,60	100,00
-43,00+38,00	4,91	28,13	-	16,37	-	40,50	16,37	100,00
-38,00+34,58	8,23	2,10	5,80	1,23	2,43	36,29	3,66	33,60
-34,58+27,80	2,25	0,31	1,90	0,20	0,80	31,19	1,00	20,00
-27,80+22,18	9,19	0,73	7,85	0,43	3,27	24,19	3,70	11,60
-22,18+17,60	9,11	0,41	11,77	0,23	3,33	19,89	3,56	6,50
-17,60+14,11	4,91	0,42	8,01	0,23	4,93	15,86	5,16	4,50
-14,11+11,20	7,47	0,17	9,50	0,10	3,97	12,66	4,07	2,50
-11,20+8,89	7,95	0,10	10,07	0,07	4,20	10,05	4,27	1,60
-8,89+7,06	12,01	0,11	14,26	0,07	5,97	7,98	6,04	1,20
-7,06	22,22	0,24	30,84	0,13	12,87	-	13,00	1,00
Toplam	100,00	100,00	100,00	58,23	41,77	-	100,00	

-0.038 mm'lik fraksiyonun en iyi ayrılabilceği koşulların belirlenmesi amacıyla, hidrosiklon parametreleri ve debi sabit tutularak ($Q=1,126 \text{ m}^3/\text{saat}$), farklı palp yoğunluklarında bir seri deney yapılmış ve en iyi sonuç ağırlıkça % 30 katı içeren besleme ile elde edilmiştir. Bu koşullarda alt akıma kaçan -0,038 mm' lik malzeme miktarı yaklaşık % 4,6 gibi oldukça küçük bir değerdedir. Yapılan deneye ilişkin besleme, alt akım ve üst akım tane boyu dağılımları ile hidrosiklon verimini belirleyen performans eğrisinin çizimine olanak sağlayan veriler Çizelge 7'de, performans eğrisi Şekil 1 'de ve kimyasal analiz sonuçları da Çizelge 8'de verilmektedir. Performans eğrisinden bulunan d_{50} değeri 38 um dolayında çıkmıştır.

Çizelge 8. Siklon Beslemesi ve Ürünlerinin Kimyasal Bileşimi.

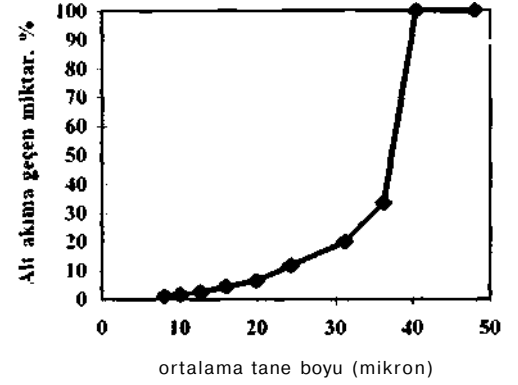
NUMUNE	Miktar	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
	Ağırlıkça,%	%	%	%
BESLEME	100,00	24,24	65,61	0,63
ÜST AKIM	58,23	29,89	60,25	0,59
ALT AKIM	41,77	16,40	73,08	0,69

Hidrosiklon üst akım çıkışı CARPCO yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcıya beslenerek ve 6,5 mm çapında bilyalar kullanılarak 0-3 Tesla alan şiddetinde tarama yapıldığında Çizelge 9'da verilen sonuçlar elde edilmektedir.

Çizelge 9. Manyetik Ayırma Deneyi Sonuçları

NUMUNE	Miktar	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
	Ağırlıkça,%	%	%	%
BESLEME	100,00	29,86	60,25	0,59
MANYETİK KONSANTRE	1,04	19,39	58,03	21,52
ALT AKIM	98,96	29,97	60,27	0,37

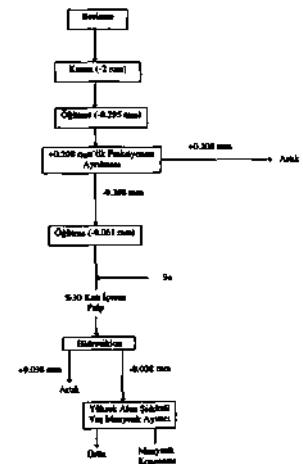
Çizelge 9' dan anlaşılacağı gibi hidrosiklon üst akım çıkışı manyetik ayırma işlemine tabi tutulduğunda elde edilen ürünlerdeki demir miktarı % 0,37 Fe₂O₃ değerine düşürülmektedir.



Şekil 1. Hidrosiklon performans eğrisi

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Laboratuvar ölçekte gerçekleştirilen optimizasyon deneyleri sonucunda -0,295 mm'ye öğütülen malzemenin +0,208 mm'lik fraksiyonunun artık olarak ayrılması, -0,208 mm'lik fraksiyonun -0,061 mm olacak şekilde tekrar öğütülmesi gerektiği anlaşılmıştır. -0,061 mm tane boyundaki malzemenin ağırlıkça % 30 katı içeren palp şeklinde hidrosiklona beslenmesi durumunda, -0,038 mm'lik fraksiyon ürün olarak alınmakta ve bu üründe yüksek alanlı yaş manyetik ayırıcıdan geçirilerek son ürün alınmaktadır. Böyle bir uygulama sonucunda besleme malzemesinin yaklaşık % 28'inin ürün olarak alınabileceği ve başlangıçta % 18,76, % 73,26 ve % 0,64 olan Al₂O₃, SiO₂ ve Fe₂O₃ içeriklerinin de sırasıyla % 29,97, % 60,27 ve % 0,37 olacağı anlaşılmaktadır. Laboratuvar deneylerinin genel bir akım şeması Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Laboratuvar deney sonuçları dikkate alınarak önerilen akım şeması.

Deneyler sonunda elde edilen malzeme, kimyasal bileşimi bakımından seramik endüstrisinde kullanılabilir nitelikte görülmektedir. Ancak, malzeme su ile süsyansiyon haline getirildiğinde (ağırlıkça % 15'lik süspansiyon, pH=6.6) derhal çökelme eğilimi göstermektedir. NaOH çözeltisi ilavesi ile pH'nın yaklaşık 10'a çıkarılması durumunda çökelme önemli ölçüde gecikmektedir.

KAYNAKLAR

- AMPIAN, S.G., 1985, "Clays", in Mineral Facts and Problems, 183-197.
- ASDELL, B.K., 1976. "Wet Processing of Kaolin", Trans, of AIME, Vol. 238, 467-474.
- BOZDOĞAN, i., ÇİNER, N., ÖZKAPLAN, S. ve OÇIK, Y., 1983, "Mihaliççık-Ahrözü Sert Kaolinli Zen-

ginleştirme Çalışmaları", MTA Enstitüsü Teknoloji Projesi Raporu, No:62, 28 s.

CONLEY, R.F. ve LLYOD, M.K., 1970, "Improvement of Iron Leaching in Clays", Ind. Eng. Chem. Process, Des. Develop., Vol. 9, No:4, 595-601.

COOPE, B.M., (Editör), 1979. "Kaolin- A review of Production and Processing", Industrial Minerals., January, No: 136, 31-41.

DEFOE, M.E., 1985, "Clay" in SME Mineral Processing Handbook, (Ed. Weiss, N.L.), SME-AIME, NewYork.

GÜLER, Ç. VE BÖKE, N., 1985. "Kaolinin Flokülasyonu", 9. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, 53-58.

ROBINSON, G.Y., MARSTON, P.G., 1975. "Application of High Grade Magnetic Separation to Clay Beneficiation", Australian Mining, Vol. 67, No:1 1.14-18.

BKİ İŞÇİMENLER KİMYA SANAYİ

Dr. B. KAYA İŞÇİMENLER

ÜRETİM, PAZARLAMA VE TEKNİK SERVİS

- POÜELEKTROÜTLER
- BİOSİD
- YOSUN GİDERİCİ
- ENZİMLER
- SU KİMYASALLARI
- RETENSİYON MADDELERİ
- ARITMA START UP BAKTERİLERİ
- ANTISCALE MADDELER
- KÖPÜK KESİCİLER
- SONDAJ KÖPÜĞÜ

ADRES : ANAFARTALAR CAD. NO: 111/101 KONAK/ İZMİR
TEL : 0 232. 441 60 37 - 441 23 76
FAX : 0 232.441 60 17

Bir Optimum Ekipman Yenileme Modeli

An Optimum Equipment Replacement Model

Tibet CEBESOYO

Anahtar Sözcükler: Ekonomik ömür, faydalı servis ömrü yıllık eşdeğer maliyetler, operasyon maliyetlerinin tahminleri

ÖZET

Bir maden işletmesinde ekipman maliyetleri işletmenin toplam maliyetinin yarısından fazlasını teşkil eder. Dolayısıyla, kısa ve uzun dönem maden planlamalarında işletmenin toplam maliyetlerini minimum etmek, gelirleri maksimuma çıkarmak, ekipman maliyetlerinin düzenli kontrolü yakından alakalıdır. Bu kontrol ise ancak iyi bir yenileme analizi ile yapılır. Bu yazıda bir optimum yenileme modeli açıklanmıştır. Modelin pratik uygulaması için bir bilgisayar programı yazılmış olup nümerik birde uygulaması verilmiştir.

ABSTRACT

In an operating mine, equipment costs account for more than half of the total mine cost. Therefore, in order to minimise the total mine costs and to maximise the revenue in the short and long term mine planning are closely related to the regular control of equipment costs. This control is achieved with the best replacement analysis. Hence, in this paper, an optimum replacement model has been explained. For the practical applications of the model, a computer program is written and a numerical example is also given.

(*) Dr.Maden Müh., ETİBANK Proje ve Tesis Dairesi Bşk., 06410 Sıhhiye, ANKARA

1. GİRİŞ

Bir açık işletmede üretim yapan ekipmanlar (kepçeli ekskavatör, yükleyici, kamyon gibi) maden yatağının ömrü boyunca çeşitli sebeplerden dolayı bir kaç defa yenilenmektedirler. Ekipman yenilenmesinde önemli olan problem, optimum yenileme zamanının tayinidir. Keza bu zamanın tahmini oldukça zor olup çok iyi bir mühendislik kararı gerektirmektedir. Çünkü erken yenileme zamanı ekipmana yapılan yatırımın verimli bir şekilde kullanılamamasına, geç yenileme zamanı da aşırı operasyon maliyetine neden olur.

Optimum yenileme zamanının tahminini yapabilmek için bugüne kadar değişik araştırmalar yapıldı. Örneğin Drinkwater ve Hasting (1967) 'Tamir Sınırı' (Repair Limit) teoremi ile askeri araçların tamir-bakım masraflarının bir zaman süreci içerisindeki durumunu değerlendirerek maksimum maliyetin oluştuğu yılı yenileme zamanı olarak kabul etmişlerdir. Gentry ve Johnson (1974) ekipmanların kullanım şartlarına ve verimlilik derecelerine bakarak optimum yenileme zamanlarını tayin etmişlerdir. Mohan ve Baily (1975) ekipmanların yenileme zamanını yapmış oldukları Tamsayılı (Integer) modelleme tekniğine göre ekipmanların optimum yenileme zamanlarını hesaplamışlardır. Ngüyen ve Murthy (1984) üretimde kullanılan tüm ekipmanların üretim kapasitelerinin zamanla değişmelerini gözönüne alarak bu zamanı tayin etmeye çalışmışlardır. Örneklerin sayısı artırılabilir ancak yazının uzunluğunun makbul sınırlar içerisinde kalması açısından burada kesilmesi uygun görülmüştür.

2. EKİPMAN YENİLENMESİNİN TEMEL SEBEPLERİ

Bu sebepler genel hatlarıyla aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

İsteğe cevap vermemesi: Kullanılan ekipmanların kapasiteleri, işletmenin genel üretim kapasitesini arttırması halinde bu isteğe cevap veremeyebilir. Dolayısı ile bir yenileme gerekebilir.

Aşırı operasyon maliyetleri: Ortamın kul-

lanım şartlarına bağlı olarak ekipmanların operasyon maliyetleri zaman ile doğru orantılı olarak artar. Maliyeti minimize etmek için yenilenmeleri düşünülebilir.

Fiziki yıpranmalar: Atmosferik ve ortamın çalışma şartlarından dolayı ekipmanlar erken yıpranarak yenilenmeleri gerekli olabilir.

Teknolojik Eskime: Mevcut üretimde kullanılan ekipmanların, model, tip ve teknolojik açılarından geri kalması durumunda yenilenmeleri gerekebilir.

3. MODELİN UYGULANMASINDA GEREKLİ OLAN VERİLER

Sebep ne olursa olsun ekipman yenileme işlemi bir maliyet analizine dayanır. Dolayısıyla bazı verilerin bu analizde bilinmesi gereklidir.

İlk yatırım maliyetleri: Bu maliyetler zamanla orantılı olarak azalan maliyetlerdir. Örneğin alış maliyeti, taşıma maliyeti, monte etme maliyeti, hurda satış değerleri gibi.

Operasyon maliyetleri: Bu maliyetler ekipmanların kullanımı sırasında doğan maliyetlerdir. Örneğin, yakıt, yağ, bakım, tamir, işçi maliyetleri gibi.

Ekonomik Faktörler: Ekipmanların ömürleri, uygulanacak faiz oranları gibi.

4. MODELİN TANITIMI

Madencilik faaliyetlerinde kullanılan tüm ekipmanlar genelde üç ömüre sahiptirler;

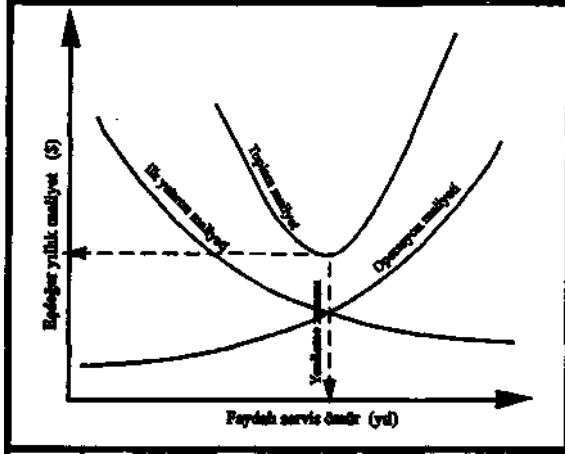
- Ekonomik ömür veya yenileme zamanı (Economic or replacement life)
- Faydalı servis ömrü veya fiziki ömür (Useful service life or physical)
- Amortisman ömrü (Depreciation life)

Ekonomik ömür ekipmanın yenilediği ömürdür. Bu ömür gelirler dikkate alındığında ekipmanın optimum geliri sağladığı yıl olup, maliyetler açısından dikkate alındığında yıllık eşdeğer toplam ekipman maliyetinin en düşük olduğu yıldır. Fiziki ömür veya faydalı ömür ekipmanın hurda

değerini almış olduğu ömürdür. Bu ömrün sonunda ekipmanın toplam maliyeti toplam gelirinden daha fazladır. Amortisman ömrü ekipmanın kendisine yapılan yatırımı dengelediği yıl olarak tanımlanabilir. Ancak burada geliştirilen model sadece ekonomik ve faydalı servis ömürlerini dikkate almaktadır.

Model hem işletmede mevcut kullanılan ekipmanların hem de yeni alınacak ekipmanların ekonomik ömürlerinin tahminlerini yapar. Ancak eski veya yeni ekipmanların ekonomik ömürlerinin tahminleri yapılırken, modelin uygulamasında gözönüne alınması gereken faydalı servis ömürleri farklıdır. Örneğin, yeni bir ekipmanın ekonomik ömrünün tahmininde faydalı servis ömrünün tamamı gözönüne alınırken, eski bir ekipmanın ekonomik ömrünün tahmininde sadece kalan servis ömrü dikkate alınır.

Yenileme modeli Şekil T de görülen grafikte basit bir şekilde izah edilebilir.



Şekil 1. Modelin grafiksel izahatı

Şekil T deki grafiğe göre, bir ekipmanın eşdeğer yıllık ilk yatırım maliyetleri zaman ile orantılı olarak azalırken, eşdeğer yıllık operasyon maliyetleri tersine artar. Bu iki maliyet eğrisinin bileşkesinden ortaya çıkan eşdeğer yıllık toplam maliyet eğrisinin en düşük olduğu kısım ekipmanın ekonomik ömrü olup, bu noktada ekipman mutlaka yenilenmelidir. Çünkü bu noktadan sonra toplam maliyet eğrisi hızlı bir şekilde yükselmektedir.

Bir ekipmanın ekonomik ömrünün tesbiti kompleks matematik işlemi gerektirmesine rağmen, aşağıda belirtilen iki ideal kural ile bu ömür herhangi bir hesap yapılmadan da

tahmin edilebilir.

1) Eğer bir ekipmanın yıllık operasyon maliyeti ve yıllık hurda değerleri faydalı servis ömrü boyunca her yıl aynı ise, ekonomik ömür ekipmanın servis ömrüdür. Bunun anlamı ekipman hurda oluncaya kadar kullanılabilir demektir.

2) Eğer bir ekipmanın yıllık hurda değerleri, ilk yatırım maliyetine eşit ve yıllık operasyon mayitleri faydalı servis ömrü boyunca artıyorsa, bu ekipmanın ekonomik ömrü her zaman bir yıldır. Yani ekipman ilk yıl kullanımından sonra ekonomikliğini yitirmektedir.

Ancak belirtildiği gibi, bunlar ideal durumlar olup gerçekte ekonomik ömür bu iki durum arasında yer alır.

5. EKİPMAN OPERASYON MALİYETLERİNİ TAHMİN ETME YÖNTEMLERİ

Ekipmanın ekonomik ömrünün hesaplanmasında operasyon maliyetlerinin bir zaman süreci üzerinden tahminler yapılmalıdır. Bir başka anlatımla, ekipmanın operasyon maliyetleri faydalı servis ömrü boyunca nasıl ve ne şekilde değişeceğinin tahmin edilmesi gerekir. Zira, şimdiye kadar yapılan bilimsel araştırmalarda bu maliyetlerin zaman içerisinde nasıl artış göstereceği kesin kurullarla tespit edilememiştir. Geliştirilen yenileme modeli operasyon maliyetlerinin tahminini aşağıdaki dört metod ile yerine getirmektedir (Cebesoy, 1993).

- Doğrusal olarak artış göstermesi
- Aritmetik seri olarak artış göstermesi
- Geometrik seri olarak artış göstermesi
- Doğrusal olmayan bir şekilde artış göstermesi

Ekipman operasyon maliyetlerinin doğrusal bir şekilde artış göstermesi güncel hayatta fazla sık rastlanan bir olay değildir? Fakat enflasyonun düşük olduğu ülkelerde bazı operasyon maliyetleri hemen hemen her yıl aynıdır. Örneğin işçilik maliyetleri gibi.

Operasyon maliyetlerinin aritmetik seri olarak artış göstermesi daha gerçekçi bir

yaklaşımdır. Bu metotta operasyon maliyetleri her yıl belli bir aritmetik oranla artış göstereceği kabul edilir. Ancak bu oranın tespiti, büyük ölçüde tahmini yapanın geçmiş deneyimlerine, ekipmanın teknik özelliklerine, kullanım şekillerine, kullanım sıklığına ve çalıştığı ortamın coğrafi yapısı gibi bir çok bilinen ve bilinmeyen faktörlere bağlı olarak değişir. Model, sözkonusu faktörleri gözönünde bulundurularak istatistiksel bir risk analizi ile beklenen aritmetik oranın tahminini yapar.

Geometrik seri metod da aynı aritmetik seri metoda benzerdir. Ancak bu metotta operasyon maliyeti bir aritmetik oranla değil sabit bir geometrik yüzde oranı ile artış göstermektedir. Bu yüzde oranının maliyetini tahmin etmesi gerekir. Bu metod diğerlerine nazaran daha zordur.

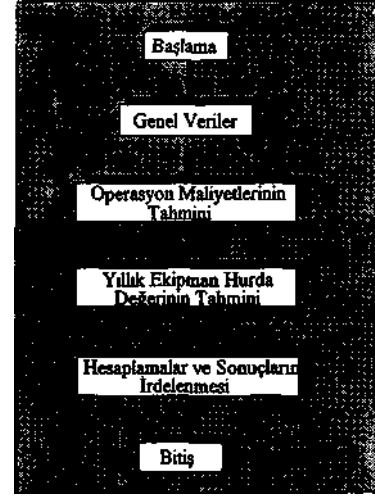
Doğrusal olmayan metotta ise operasyon maliyetleri ekipmanın faydalı servis ömrü boyunca heryıl farklı bir şekilde artış göstermektedir. Dolayısıyla karar verici servis ömrü süresince her bir yılın operasyon maliyetini tahmin etmesi gereir. Bir metod diğerlerine nazaran daha zordur.

6. MODELİN PRATİK UYGULAMASI İÇİN GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMI

Modelin hızlı ve pratik uygulaması için geliştirilen paket program Turbo Pascal V 6.0 ile IBM uyumlu bir bilgisayarda ingilizce olarak yazılmış olup, kısa adı ECMS (Equipment Cost Modelling System) olan 'Ekipman Maliyet Modelleme Sistemi' dir. ECMS in genel akım şeması Şekil 2' de görülmektedir.

Akım şemasında da görüldüğü gibi, ilk kısım genel veriler ile ilgili olup burada kullanıcı Şekil 3' de görülen bilgileri girer. (Ekipman sayısı, faiz oranı, ekipmanın ilk alış veya ilk yatırım maliyeti ve faydalı servis ömrü). Bundan sonra operasyon maliyetlerinin tahmini yapılır. Bunun için kullanıcı Şekil 4' de görülen seçeneklerden birini seçer. Eğer kullanıcı aritmetik veya geometrik metotlardan birini seçerse Şekil 5 veya Şekil 6' da görülen bilgileri girerek beklenen aritmetik oranın veya geometrik yüzde değerinin tahmini yapabilir. Eğer kul-

lanıcı Şekil 7' yi seçerse bu bir doğrusal olmayan metod olup ekipmanın faydalı servis ömrünün her bir yılına karşılık gelen operasyon maliyetlerini tahmin etmesi gerekir.



Şekil 2. ECMS'in genel akım şeması

ECMS operasyon maliyetlerini bu yöntemleri biri ile tahmin ettikten sonra, bu tahmin değerlerini Şekil 8' e otomatik olarak taşır ve burada kullanıcıdan ekipmanın servis ömrü boyunca hurda değerlerini girmesini ister. Bütün bu işlemlerden sonra ECMS gerekli hesaplamaları ve analizleri yaparak sonuçları bir dosyada toplar ve ekrana grafikleriyle beraber getirir.

7- MODEL İÇİN NÜMERİK BİR UYGULAMA

Bir açık işletmede, mevcut kullanılan Z1 ve X1 dekapaj kamyonlarıyla yeni alınacak iki adet Y1 ve Y2 dekapaj kamyonlarının optimum yenileme zamanları tahmin edilmek istenmiştir. Kamyonlarla ilgili tüm veriler Çizelge 1' de verilmiştir.

ECMS' e bu veriler girildiğinde sonuçlar Şekil 9 ile Şekil 13 arasında görülmektedir. Şekillerdeki notasyonların anlamları sırasıyla; É.OP.C.(Annual equivalent operation costs) 'Yıllık eşdeğer operasyon maliyetler', E.O.W.C. (Annual equivalent ownership costs) 'Yıllık eşdeğer ilk yatırım maliyetler', ESALV. (Annual equivalent salvage values) 'Yıllık eşdeğer hurda değerler', ETOT.C. (Annual equivalent total costs) 'Yıllık eşdeğer toplam maliyetler' dir. Z1 kamyonun 6 yıl fay-

Analiz edilecek ekipman sayısını giriniz : ?

Uygulanacak faiz oranı nedir : ?

[Ekipman no: 1]

İlk alış maliyeti (\$) :

Servis ömrü (yıl) :

Şekil - 3 Genel Bilgiler Menüü

Deneme Sayısı	Mümkün geometrik Yüzdeler (%)	Her Bir Yüzdenin Olasılığı (ondalık)
1	20	0.05
2	30	0.06
3	40	0.07
4	50	0.08
5	.	.
.	.	.
.	Kullanıcı tarafından Girilecek	Kullanıcı tarafından Girilecek

Şekil - 6 Geometrik Seri Tahmin Metodu

1 -) Doğrusal Tahmin Metodu

2 -) Aritmetik Tahmin Metodu

3 -) Geometrik Tahmin Metodu

4 -) Doğrusal Olmayan Tahmin Metodu

Seçiminizi yazın ()

Şekil - 4 Operasyon Maliyetleri Tahmin Etme Metotları

Servis Ömrü (Yıl)	Yıllık Operasyon Maliyetleri (\$)
1	1000
2	2000
3	3000
4	4000
5	5000
.	.
.	.
.	.

Şekil - 7 Doğrusal Olmayan Tahmin Metodu

Deneme sayısı	Mümkün Aritmetik Oranlar (\$)	Her Bir Oranın Olasılığı (ondalık)
1	200	0.05
2	300	0.06
3	400	0.07
4	500	0.08
5	.	.
.	.	.
.	Kullanıcı tarafından Girilecek	Kullanıcı tarafından Girilecek

Şekil - 5 Aritmetik Seri Tahmin Metodu

Servis Ömrü (Yıl)	Tahmini Harca Değerleri (\$)	Tahm. edilmiş Oper. Maliyetleri (\$)
1	40000	1000
2	30000	2000
3	20000	3000
4	10000	4000
5	.	.
.	.	.
.	Kullanıcı tarafından Girilecek	Doeyadan Okunacak

Şekil - 8 Yenileme Zamanı Hesaplaması