

Öğrenci Bitirme Tasarım Projesi-2021 BAHAR-CEVHER-3

Otojen / Yarı Otojen Değirmeni Dizaynında Uygulanan SAG Öğünebilirlik İndeksi Testi

İsmail Hakkı AKSU, Prof. Dr. Feridun BOYLU*

İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, Maslak/İstanbul

*Bitirme Tasarım Projesi Danışmanı Öğretim Üyesi



ÖZET

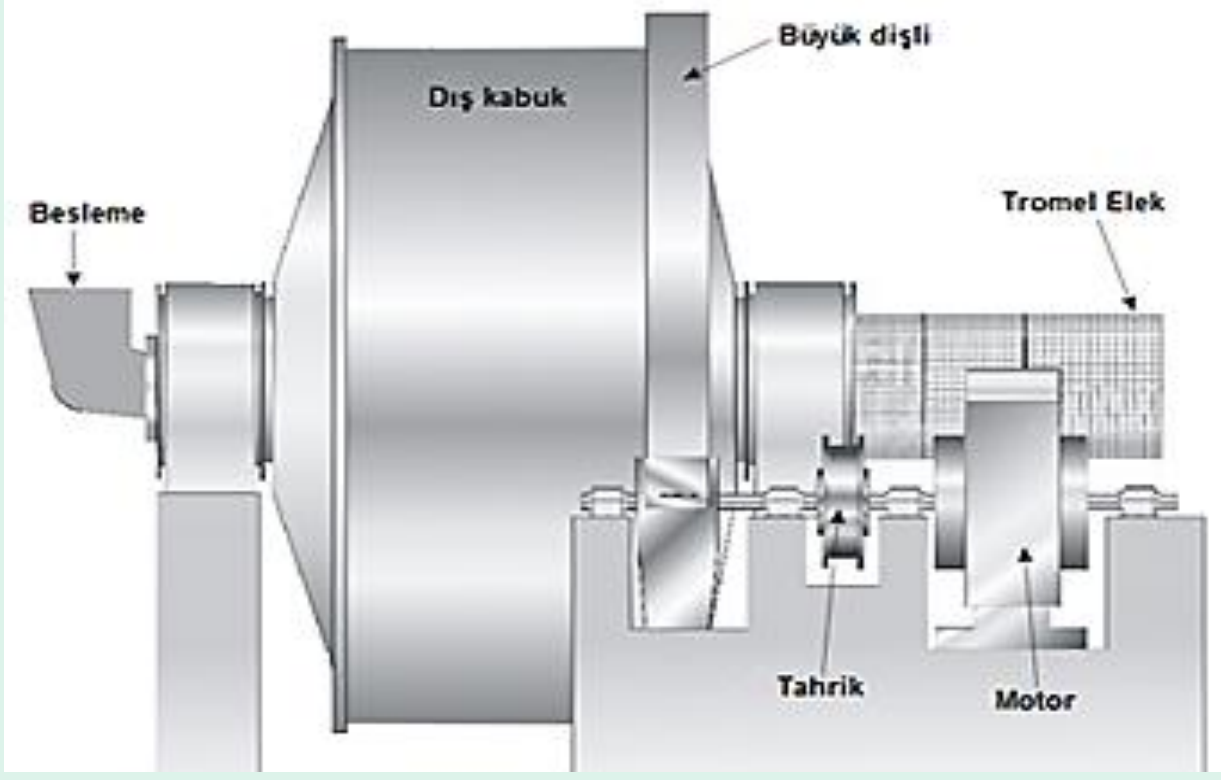
Tez çalışması kapsamında, AG/SAG değirmen dizaynında sıklıkla kullanılan ve nispeten uygulaması daha kolay olan SAG Öğünebilirlik İndeksi Testi (SGI) prosedürü, test sonuçlarının değerlendirilmesi ve boy ve çap oranlarının belirlendiği değirmen dizaynı hesaplamaları, diğer alternatif testler ile uyumluluğu üzerine araştırma ve değerlendirmeler yapılmıştır.

ABSTRACT

In scope of this thesis, research and evaluations were made on the SAG Gritability Index Test (SGI) procedure, which is frequently used in AG/SAG mill design and is relatively easy to apply, the evaluation of the test results and the mill design calculations in which the length and diameter ratios are determined, and its compatibility with other alternative tests.

AG/SAG Değirmenlerin Özellikleri

Boyut küçültme oranı kırıcılara kıyasla çok daha yüksek, ama kapasiteleri kırıcılara göre düşük olan bu değirmenlerin çapları, uzunluklarından daha büyüktür. Tasarımda genellikle 3:1 oran tercih edilir. Optimum besleme boyutu 150-300 mm aralığındadır.



Şekil 1. SAG Mill Çalışma Mekanizmaları

Otojen değirmenler öğütme ortamı olarak öğütülecek cevherin iri parçaları kullanır. Beslenecek cevherin sertliği öyle bir değerde olmalı ki iri parçalar bir öğütücü ortam gibi ortamdaki ince taneleri daha ince boyuta öğütebilecek sertlikte olmalıdır. Aynı zamanda da kendisi de o öğütme işlemleri boyunca uygun zamanda aşınarak öğünmelidir. Bu yüzden otojen öğütme her cevher türünde uygulanamaz. Eğer öğütülmek istenen cevher bünyesinde yeterince iri parçalar bulunmazsa SAG değirmene hacimce %5-15 oranında çelik bilya ilavesi yapılabilir. Bunun sonucunda da öğütme yarı otojen hale gelir.

Genelde yüksek tonajlı altın, bakır, platin, gümüş, kurşun, çinko ve nikel üretiminin yapıldığı cevher hazırlama tesislerinde SAG değirmenler tercih edilmektedir.

SAG Mill Tasarımı İçin Uygulanan Bazı Testler

Drop Weight (Ağırlık Düşürme) Testi

Ağırlık düşürme testi cevher numunelerinin kırılma davranışının test edilmesi, daha sonra tesis ve proses tasarımı ve prosesdeki optimizasyonlar için kullanılan cevher kütlesi hakkında bilgiler sağlar. Testinin temel prensibi, tane üzerine enerji uygulanması ve buna karşılık kırılan ürünün boyut dağılımının ölçülmesidir. Test sonucunda elde edilen cevher numunesine özgü parametreler ile o numunenin SAG mill'de öğünebilmesi için gereken spesifik enerji elde edilir.

$$E = (h - h_f) * \left(\frac{0,0272 * M_d}{m} \right) \quad (1)$$

Burada E kırma enerjisini, h ağırlığın düşme yüksekliğini, hf düşme sonrası ağırlık ile zemin arasındaki mesafeyi, m numunede tanelerin ortalama kütlelerini ve Md ise düşen ağırlığın kütlelerini temsil etmektedir.

SAG Öğünebilirlik İndeksi Testi (SGI)

Bu test birincil olarak SAG mill'e beslenen cevher için öğütme verimliliğinin ölçümü ve SAG mill'in güç tüketiminin parametresi olan öğütme süresinin kalibrasyonu için yapılmaktadır.

John Starkey tarafından geliştirilen bu testte, 30,5 cm çapında ve 10,2 cm uzunluğunda olan SAG mill'e hacimce %15 olacak şekilde 3,2 cm çapında bilya şarjı yapılarak, %80'i 12,7 mm boyutu altında olan 2 kg kuru cevher beslemesi ile kuru öğütme yapılmıştır. Beslenen cevher miktarının %80'i 1,7 mm altına inene kadar döngü devam etmiştir. Yani +1,7 mm boyut grubu değirmene geri beslenmiştir.

Testte önemli olan, gereken boyut küçültmeyi sağlamak için geçen süreyi dakika cinsinden ölçmektir. Çünkü bu testte zaman, belirli bir boyut küçültmeyi yakalamak için gerekli olan gücü bize ifade etmek için kullanılır.

$$E_{SAG} = 5,9 * SGI^{0,55} * T_{80}^{-0,275} * CFSag \quad (2)$$

SAG Mill'in Boyutlandırılması

Değirmenin hesaplanan spesifik enerjisi sonucu ile değirmene beslenecek tonajın çarpılması sonucunda SAG mill'in gereken öğütme süresini belirlemek için çekeceği elektrik gücü bulunur. Ticari olarak bir değirmen seçilebilmesi alınabilmesi için değirmenin boyutlandırılması için çapının ve boyunun bilinmesi gerekir.

$$D^y = P * (D/L) * c \quad (3)$$

Burada D değirmen çapını, L değirmen boyunu, P değirmen gücünü, c ve y ise diğer parametreleri temsil etmektedir.

VAKA ÇALIŞMASI

Mevcut sağlık tedbirlerinin uygulanması sebebiyle laboratuvarlar kullanılmamış, bundan dolayı da vaka çalışmasına gidilmiş olan bu çalışmada, belli bölgelerden alınmış cevher numuneleri üzerinde uygulanan testler sonucunda Alex Doll tarafından hazırlanmış olan veri tabanından yararlanılmıştır. Bu verilere göre 136 adet numune üzerine SAG Öğünebilirlik indeksi testi (SGI), ağırlık düşürme testi (DWT) ve Bond iş indeksi testi (Wi) yapılmıştır. Alınan bu verilere göre yapılan vaka çalışmasında saatte 300 ton besleme yapılması halinde SAG mill'in çekeceği güç enerjileri her bir yöntem için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Hesaplama Parametreleri

Besleme boyutu (F80) 150.000 mikron, transfer boyutu (T80) 1.200 mikron, CFSag 1, boy/çap oranı (D/L) 2, c: 0,25, y: 180-1800 kWh/t'luk SAG miller için 3,7 ve 2000-4000 kWh/t'luk SAG miller için 3,48 olarak seçilmiştir.

Vaka çalışması için edinilen verilere göre alınan numuneler için uygulanan test sonuçları çizelge 1.'deki gibidir.

Çizelge 1. Numune Üzerinde Yapılan Hesaplama Sonuçları

ID	SE kWh/t		T.G. kWh/t		Boyutlar	
	SGI	DWT	DWT	SGI	D, m	L, m
1	4,0	2,6	789,3	1200,5	5,6	2,8
2	2,2	1,3	396,6	662,3	4,8	2,4
3	3,9	3,4	1018,2	1181,0	5,6	2,8
4	2,6	2,2	661,6	785,0	5,0	2,5
5	4,0	4,3	1290,5	1204,3	5,6	2,8
6	2,6	2,6	784,2	790,5	5,0	2,5
67	2,6	2,6	784,2	790,5	5,0	2,5
68	1,6	1,3	390,9	485,7	4,4	2,2
69	3,0	2,2	650,4	893,7	5,2	2,6
70	3,7	3,0	903,3	1104,7	5,5	2,8
71	8,9	8,9	2668,8	2657,0	7,9	3,9
132	12,4	11,5	3449,2	3712,6	8,7	4,3
133	15,7	14,0	4199,3	4721,3	9,3	4,7
134	14,3	13,1	3935,7	4299,0	9,1	4,5
135	13,1	11,8	3543,3	3931,2	8,8	4,4
136	15,5	13,3	3985,5	4640,1	9,3	4,6

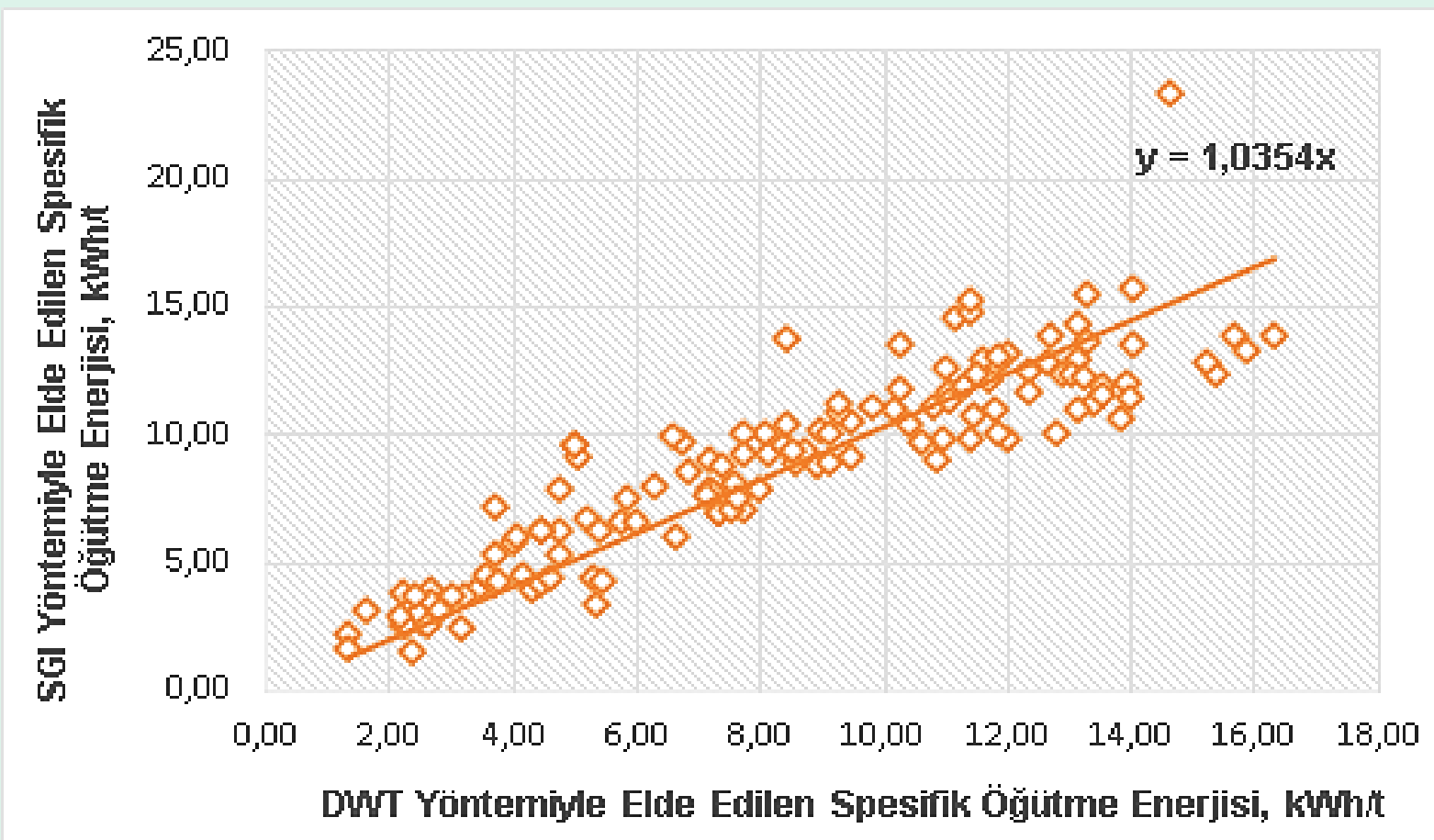
SE: Spesifik enerji, kWh/t. SGI: SAG öğünebilirlik testi sonuçları, DWT: Drop weight testi sonuçları. T.G: Saatte 300 ton için SAG mill için gereken toplam enerji, kWh/t.
Boyutlar: Değirmenin çap (D) ve boy (L) uzunluğu, m.

Çizelge 1.'deki spesifik S.E. kolonundan görüldüğü üzere öğünmesi zor olan numuneler için hesaplanan spesifik öğütme enerjisi değeri yüksek, öğünmesi kolay olanlar için ise daha düşük çıkmaktadır.

Aynı şekilde değirmenin taneleri istenilen boyut altına indirebilmek amacıyla, dönme hareketi sırasında taneleri daha yüksekten bırakması gerektiğinden, öğünmesi zor olan numune grubu için daha yüksek çap ve boy uzunlukları sonuçları alınmıştır.

Yöntemlere Göre Hesaplanan SAG Mill Spesifik Enerjilerinin Kıyaslanması

SGI yöntemi ve DWT yöntemi karşılaştırılması şekil 2.'de verilmektedir.



Şekil 2. Drop Weight Test ve SAG Öğünebilirlik İndeksi Testi Yapılan Numuneler Üzerinde SAG Mill Gücü Hesaplamalarının Kıyaslanması

Yapılan kıyaslamalardaki amaç testlerdeki sonuçların birbiriyle tutarlı olup olmadığının cevabını aramaktır. Grafiklerde bulunan y=m*x formülünde bulunan m değerinin 1'e yakınlığı, kıyaslanan iki yöntem arasında bir korelasyon var olup olmadığının kanıtıdır.

Şekil 2. incelendiğinde ise m değerinin 1,0354 olduğu ve DWT ile SGI yöntemleri sonuçlarının arasında bir korelasyon olduğu, bu iki yöntemle de SAG mill spesifik enerjisi hesaplanabileceği, sonuçlarının birbirine yakın olacağı anlaşılmaktadır.

SONUÇLAR

- Bu test alet, ekipman ve program bağımlıdır ve testteki ilk amaç bütün verileri ortaya koyarak, değişken sertlikteki numune grupları üzerinde SAG mill için doğru kWh/t değerini elde ederek, eğer bu çalışma endüstriyel aşadan kurulmuş bir tesis için yapılacaksa da amaçlandığı gibi çalışan bir SAG mill dizaynı yapmaktır.
- SAG mill'lerinin spesifik enerjisini doğru bir şekilde tahmin etmenin başında, test için kullanılacak olan numunenin gerçek anlamda o cevherin temsil edecek nitelikte alınmasıdır. Çünkü alınan örnekte en sert cevherin bulunmaması sonucunda, yapılacak testte gerçek sonuçlar alınmayacaktır. Bundan dolayı tasarım da başarısız olacaktır. Bu yüzden testi yapan mühendisin uygun numune alması testin başarısını etkiler. Cevherin sertlik derecesinin değişmesinden dolayı alınmış olan numune, temsil niteliğinin dışına çıkmaktadır. Bu nedenle testin sonucuna göre yapılacak tasarımda herhangi bir problemin yaşanmaması adına, uygulanan testte kullanılan eleğin altına %80'lik diliminin geçtiği tane boyutu ile en sert cevhere yakın bir sertlikte çalışılmalıdır.
- Testin başarısını teyit etmek amacıyla uygulanabilecek diğer testleri de aynı numune üzerinde uygulayıp sonuçları irdelemek, gerekli iyileştirmeleri yapmak adına güvenli bir yoldur. Çalışmalar sırasında da test yöntemi açısından varsayımlarda bulunmalı ve çalışan tesislere veya mevcut veri tabanına göre kalibre edilmiş parametrelere sahip modeller tercih edilmelidir.
- Öğütme-değirmen testinin Bond testleriyle birlikte kullanılması, söz konusu numunenin kırılma durumu anlamak amacıyla boyuta göre kırılma oranı eğilimi elde edilir ve varsa anormallikler burada ayırt edilebilir.
- Değirmen tasarımındaki hataların çoğu yetersiz veri, temsili numune eksikliği, gözden kaçırılan cevher türleri veya kullanılan test modelinin yanlış anlaşılmasıyla testlerin sonucunda yapılacak yanlış analiz, yorumlama ve kıyaslamalar sonucunda da başarısız bir testin ortaya çıkması isabet olacaktır. Bunun gibi kusurlu mühendisliklerin endüstri genelinde birçok örneği vardır.
- Mevcut yöntemlerin hiçbirini yürütülen test çalışmaları açısından tipik olarak SAG mill'e beslenen boyut dağılımının tam aralığını kapsamadığından ve test çalışmalarında tüm kırılma fonksiyonları yeniden üretilmediğinden, her yöntemin kendi içinde sınırlamaları olmalıdır ve bu yöntemlerin, modellerin ve veri tabanının zamanla değişen ve gelişen teknolojiye bağlı olarak iyileştirilmesi, optimize edilmesi veya güncellenmesi gerekir. Çünkü her ilerleme testin başarı yüzdesini artırmakta ve SAG mill güç tüketiminin azaltılmasında etkili olabilmektedir.

Teşekkür

Başta bölüm başkanımız Prof. Dr. Gülay Bulut'a, tezime olan çalışma sürecim boyunca her türlü desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Feridun Boylu'ya, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Özer'e ve pek tabii Araş. Gör. Yusuf Enes Pural'a saygı ve şükranlarımı sunarım. Aynı zamanda maddi ve manevi açıdan hep arkamda duran canım ailem ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler.

Kaynaklar

- Amelunxen, P., Berríos, P. & Rodriguez, E.; The SAG grindability index test, Minerals Engineering 55 (2014) Pg 42-51.
- Becerra, M. & Amelunxen, P.; A comparative analysis of grinding circuit design methodologies, Procemin 2012, Santiago, Chile.
- Doll, A. Database of Public Grindability Testwork. www.sagmilling.com/articles
- Ersel Ağır Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2020 SAG Mill Kataloğu. http://www.ersel.com/sayfalar/urun/sag.html
- Güney, A. Cevher Hazırlama Mühendisliği, Tesis Tasarımı Dersi – Öğütme Tesisleri Tasarımı Ders Notu
- METSO, t.y. https://www.mogroup.com/products-and-services/plants-and-capital-equipment/crushers/impact-crushers/
- METSO, t.y. https://www.mogroup.com/portfolio/metso-sag-mills/
- MinnovEX. SPI Profile Database
- Mining Mill Operator Training. AMIT 135: Lesson 6 Grinding Circuit. https://millops.community.uaf.edu/amt-135/amt-135-lesson-6/
- Mining Mill Operator Training, t.y. Diagram of cost breakdown by mill type. https://millops.community.uaf.edu/amt-135/amt-135-lesson-6/
- Pural Y. E., 2021, kişisel görüşme.
- Starkey & Associates Inc. SAG Design Testing. http://www.sagdesign.com/products-and-services/sagdesign-test
- Starkey, J., Dobby, G. and Kosick, G., "A New Tool For SAG Hardness Testing", Proc. Canadian Mineral Processor's Conference, Ottawa, 1994
- Starkey vd., 2006. SAG Design Testing – What It Is And Why It Works. s.1-8.
- Wills B.A., 1988. Mineral processing technology, Oxford.