

Problem

Projemizde bir madencilik şirketini inceledik. Amacımız bu işletmenin bir yılda cevher çıkartma ve zenginleştirme işlemlerinden maksimum kar elde etmesini sağlayan bir yöneylem çalışması yapmaktır.

İncelediğimiz şirket Rize ve Gümüşhane'deki iki farklı madende cevher çıkartmaktadır. Bu madenlerin her birinden; altın, gümüş, kurşun, çinko ve bakır çıkartılmaktadır. Şirketin, çıkardıkları cevherleri zenginleştirme işlemlerine tabi tuttuğu bir flotasyon tesisi bulunmaktadır. Bu tesis Rize'deki madene yaklaşık 20, Gümüşhane'deki madene ise 150 km uzaklıkta Rize sınırları içerisinde bulunmaktadır.

İndisler

- İ: Maden yerleri / 1:Rize, 2:Gümüşhane
- J: Cevher tipleri / 1:Bakır, 2:Çinko, 3:Kurşun, 4:Gümüş, 5:Altın

Karar Değişkenleri

@variable(model, X[1:2, 1:5] >= 0, Int)

- Xij: i'inci madenden çıkartılan j cevherin ton cinsinden miktarı.

Parametreler

Tablo 1

Parametreler

CEVHER	SATIŞ FİYATLARI (\$)	MALİYET (\$)	RİZE	GÜMÜŞHANE	
			TENÖR ORANLARI	MALİYET (\$)	TENÖR ORANLARI
BAKIR	8.000,00	850,00	8%	900,00	48%
ÇİNKO	2.600,00	200,00	28%	350,00	12%
KURŞUN	2.050,00	750,00	11%	800,00	5%
GÜMÜŞ	800.000,00	1500,00	45%	2.000,00	68%
ALTIN	65.500.000,00	3000,00	10%	4.500,00	9%

Şirket iki farklı madenden çıkarttığı beş çeşit cevheri zenginleştirip elde ettiği yüksek saflıktaki cevherleri satarak kar elde etmektedir. Şirketin karlılığını etkileyen parametreler; cevherlerin tenör oranları, maliyetleri ve satış fiyatlarıdır. Bu üç parametre ve Julia kodlarına aşağıda yer verdik.

Cevherlerin 1 ton için satış fiyatları:

Bakır = 8000 \$

Çinko = 2600\$

Kurşun = 2050 \$

Gümüş = 800000\$

Altın = 65500000 \$

- $D = [8000, 2600, 2050, 800000, 65500000]$
- D_j : j cevherinin ton başına satış fiyatı (dolar cinsinden)

Rize ve Gümüşhane'deki madenlerin cevher tenör oranları farklıdır. Tenör oranı çıkartılan cevherin içerisindeki minerallerin oranlarını ifade eder. Tenör oranlarını kaynakçamızda belirttiğimiz bazı araştırmalarda elde edilen verilere uygun şekilde belirledik. Projemizdeki tenör oranları cevher içindeki mineralin ağırlığını ifade etmekle birlikte kalan ağırlığın katma değer yaratmayacağı ön kabulüyle ilerledik. Aşağıda tenör oranlarının Julia kodlarını görebilirsiniz.

- $T = [0.08 \ 0.48; 0.28 \ 0.12; 0.11 \ 0.05; 0.45 \ 0.68; 0.1 \ 0.09]$
- T_{ij} : i 'inci madenden çıkartılan j cevherinin tenör oranı

Rize'deki maden flotasyon tesisine yaklaşık 20 km uzaklıktadır ve çıkartılan cevher buraya getirilip zenginleştirme işlemlerine tabi tutulur. Rize'deki madenden çıkartılan bakır, çinko, kurşun, gümüş ve altının tenör oranları sırasıyla %8, %28, %11, %45 ve %10'dur. Cevherlerin maliyetleri; işçilik, işlem (zenginleştirme), amortisman, nakliye ve özellikle pahalı cevherler için sigorta maliyetleri gibi birçok kalemden oluşur. Biz maliyetleri belirlerken ilk olarak madencilik sektöründeki temel maliyetlerle ilgili yapılmış araştırmaları taradık. Taşıma maliyetlerini ise madencilikte sık kullanılan araçları, bu araçların kapasitelerini, bizim problemimizdeki muhtemel cevher miktarlarına uygun olan araçları ve bu araçların gün içindeki sefer sayılarıyla tam kapasite ile yolculuk yapan aracın mazotunu ve hızını da hesaba katarak hesapladığımız maliyetlere ekledik.

Sonuç olarak Rize'deki maden flotasyon tesisine daha yakın olduğundan maliyetler daha düşüktür.

Rize'deki madenden çıkartılan cevherlerin 1 ton için maliyetleri:

Bakır = 850 \$

Çinko = 200 \$

Kurşun = 750 \$

Gümüş = 1500 \$

Altın = 3000 \$

Gümüşhane'deki madenden çıkartılan bakır, çinko, kurşun, gümüş ve altının tenör oranları sırasıyla %4,8, %12, %5, %68 ve %9'dur.

Ayrıca Gümüşhane'deki madenden çıkartılan cevherlerin maliyetleri de aşağıdaki gibidir:

Bakır = 900 \$

Çinko = 350 \$

Kurşun = 800 \$

Gümüş = 2000 \$

Altın = 4500 \$

- $M = [850 \ 900; 200 \ 350; 750 \ 800; 1500 \ 2000; 3000 \ 4500]$
- M_{ij} : i 'inci madenden çıkartılan j cevherinin toplam maliyeti (ton başına).

Kısıtlar

Şirketin üretimi için kısıt teşkil eden dört temel başlık vardır.

- 1) Kapasite Kısıtları: Madenlerin ve flotasyon tesisinin yıllık kapasitesi sınırlıdır. Bu kısıt madenlerin ve flotasyon tesisindeki işlem hacminin sınırlarını belirler.

- Gümüşhane'deki madenin toplam rezervi 20.000.000 tondur.

$@constraint(model, \sum(X[2, j] \text{ for } j \text{ in } 1:5) \leq 2e7)$

- Rize'deki madenin toplam rezervi 12.000.000 tondur.

$@constraint(model, \sum(X[1, j] \text{ for } j \text{ in } 1:5) \leq 12e6)$

- İki madendeki toplam gümüş rezervi 140.000 tondur.

$$@constraint(model, \sum(X[i, 4] \text{ for } i \text{ in } 1:2) \leq 140000)$$
- Flotasyon tesisindeki toplam altın işleme kapasitesi 807.992 tondur.

$$@constraint(model, \sum(X[i, 5] \text{ for } i \text{ in } 1:2) \leq 807992)$$

2) Yasal Kısıtlamalar: Cevherler zenginleştirilirken ortaya çıkan toksik maddeler dolayısıyla devletin getirdiği kısıtlamalardır.

- Çinkonun flotasyon tesisinde işlem görürken %0,0105 oranında açığa çıkarttığı toksik maddenin azami sınırı 60 tondur.

$$@constraint(model, 0.00105 * (X[1, 2] + X[2, 2]) \leq 60)$$
- Bakırın flotasyon tesisinde işlem görürken %0,00105 oranında açığa çıkarttığı toksik maddenin azami sınırı 200 tondur.

$$@constraint(model, 0.0000105 * (X[1, 1] + X[2, 1]) \leq 200)$$

3) Talep Kısıtları: Firmanın tahmin ettiği veya müşterilerinden aldığı minimum talepleri ifade eder. Buradaki talep miktarları işlenmiş cevher miktarlarıdır.

- Toplam bakır talebi 160.000 tondur.

$$@constraint(model, (X[1, 1]*0.08 + X[2, 1]*0.48) \geq 160000)$$
- Toplam çinko talebi 20 tondur.

$$@constraint(model, (X[1, 2]*0.28 + X[2, 2]*0.12) \geq 20)$$
- Toplam kurşun talebi 25 tondur.

$$@constraint(model, (X[1, 3]*0.11 + X[2, 3]*0.05) \geq 25)$$
- Toplam gümüş talebi 2.000 tondur.

$$@constraint(model, (X[1, 4]*0.45 + X[2, 4]*0.68) \geq 2000)$$
- Toplam altın talebi 1.000 tondur.

$$@constraint(model, (X[1, 5]*0.10 + X[2, 5]*0.09) \geq 1000)$$

4) İşçilik Kısıtları: Firmanın çalışan sayısı ve aktif olarak işlem yaptığı zaman diliminde çıkartılabilecek ve işlenebilecek toplam cevher miktarını ifade eder.

- 800'er maden işçisinin günde 6 saatlik 2 vardiya yaptığı ve yılda 312 gün çalıştıkları maden için kısıt aşağıdaki gibidir (her bir madende 400 işçi çalışmaktadır)... Bir işçi saatte 0,6 ton bakır, çinko ve kurşun çıkartabilirken altın ve gümüşte bu miktar 0,4'e düşmektedir.

@constraint(model, sum((10/6) X[i, j] for i in 1:2, j in 1:3) + (10/4) * sum(X[i, j] for i in 1:2, j in 4:5) <= 2995200)*

Amaç Fonksiyonu

Projemizde yaptığımız yöneylem çalışmasının amacı; kısıtların varlığında cevher taleplerini en yüksek karla karşılamaktır. Aynı zamanda cevherlerin çıkartılacağı madenler, cevherlerin işlenmesi ve yeni tesis açılması gibi bazı kararların alınması için bize yardımcı olacak sonuçlar elde etmektir.

EnbZ = Her ij cevheri için toplam ((ij cevherinden çıkartılan toplam miktar) * (ij tenör oranı) * (j satış fiyatı)) – ((ij maliyeti) * (ij cevherinden çıkartılan toplam miktar))

- *@objective(model, Max, sum((X[i, j] * (T[j, i] * D[j]) - (X[i, j] * M[j, i])) for i in 1:2, j in 1:5))*

Yukarıdaki amaç fonksiyonu kodunda tenör ve maliyetlerde i ve j'lerin yer değiştirme sebebi yazdığımız matrislerin karar değişkenlerinin matrisinin tersi olmasıdır.

Sonuçlar

Tablo 2'de Julia ile optimum çözümüne ulaştığımız problemin sonuç verilerini görebilirsiniz. Tabloda toplam arz ile gösterilen sütun çıkartılan cevher miktarı ile ilgili cevherin tenör oranı ile çarpılmasından elde edilmiştir.

Tablo 2*Sonuç verileri*

CEVHER	ÇIKARTILACAK MİKTAR	CEVHER	ÇIKARTILACAK MİKTAR	TOPLAM ÇIKARTILAN CEVHER	TOPLAM ARZ
X11	0,00	X21	374832	374832,00	179919,36
X12	71,00	X22	1,00	72,00	20,00
X13	227,00	X23	1,00	228,00	25,02
X14	0,00	X24	140000,00	140000,00	95200,00
X15	807992,00	X25	0,00	807992,00	80799,20
TOPLAM	808290,00		514834,00	1323124,00	355963,58

Sonuç olarak problemimizin en iyi çözümü şu şekildedir:

- Bakır cevheri yalnızca Gümüşhane'deki madenden çıkartılmalıdır (bu beklenmedik bir durumdur çünkü Gümüşhane'deki maden flotasyon tesisine daha uzaktır ve maliyetler daha yüksektir) ve talep miktarının yaklaşık dörtte biri kadar fazla zenginleştirilmelidir. Bu sonuçtan bakır cevherinin zenginleştirilmesinin karlı olduğu sonucuna vardık.
- Çinko cevheri Rize'deki madenden 71 ton çıkartılmalı, 1 tonu da Gümüşhane'deki madenden çıkartılmalıdır ve tam talebi karşılayacak kadar zenginleştirilmelidir.
- Kurşun cevheri Rize'deki madenden 227 ton, Gümüşhane'deki madenden 1 ton çıkartılmalı ve talebin 0,02 ton üzerinde zenginleştirilmelidir.
- Gümüş cevheri yalnızca Gümüşhane'deki madenden çıkartılmalı ve azami miktar kadar zenginleştirilmelidir.
- Altın cevheri de yalnızca Rize'deki madenden çıkartılmalı ve azami miktar kadar zenginleştirme işlemi yapılmalıdır.
- Elde edilebilecek en yüksek kar 5.367597550837e12 \$'dır.

Öneriler

İdeal durumda bakır cevheri yalnızca Gümüşhane'deki madenden çıkartılmakta, çinko ve kurşun ise 1'er tonları dışında Gümüşhane'deki madenden çıkartılmaktadır.

Altın cevheri de yalnızca Rize'deki madenden çıkartılmakta ve tesis kapasitesi dolayısıyla azami miktarda üretilmektedir ancak altın ve gümüş, çözümümüze göre en yüksek kâr marjına

sahip cevherlerdir bu nedenle bu cevherlerin daha çok zenginleştirilmesini sağlamak için önerilerde bulunulabilir. Ancak gümüş, maden rezervi sebebiyle daha fazla çıkartılamaz.

- Gümüşhane’de yeni ve nispeten küçük bir flotasyon tesisi kurulabilir. Bu tesis bakır, çinko ve kurşun için kullanılabilir.

Bu sayede maliyetleri azaltılan bu üç cevher bu küçük tesiste zenginleştirilir ve bu cevherlerin karı arttırılmış olur.

- Rize’deki tesisteki tüm kapasite altın ve gümüş zenginleştirilmeye kullanılabilir(bakır çinko ve kurşun Gümüşhane’deki yeni tesiste zenginleştirileceğinden Rize’deki flotasyon tesisinde oluşan atıl kapasite kullanılır). Bu sayede altın ve dolayısıyla uzun vadede yıllık karlar artar.

KAYNAKÇA

- Ercan A, Maden işyerlerinde çalışma süreleri ve fazla çalışma. TÜHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi. 2014. 25(3-4-5-6).
<https://www.tuhis.org.tr/upload/dergi/1420013200.pdf>
- Madencilik ve taşocakçılığı kapasite kriteri son şekli.
<https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.tobb.org.tr%2FSanayiMudurlugu%2FDocuments%2FKriter%2FMADEN%2520%25C4%25B0%25C5%259ELETMELELER%25C4%25B0%2520KAPAS%25C4%25B0TE%2520KR%25C4%25B0TER%25C4%25B0%2520SON%2520TASLA%25C4%259EI.docx&wdOrigin=BROWSELINK>
- Mehmet HS, Emre A. Optimization with Julia. DOI: 10.26650/B/SS28ET06.2023.006.11.
[D8FBCB10828545B1BCB045463794128E \(istanbul.edu.tr\)](https://doi.org/10.26650/B/SS28ET06.2023.006.11)
- Ümit C. Hammadde kaynakları.
[ŞEKİL BAKIMINDAN DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN ÖZELLİKLER \(deu.edu.tr\)](https://doi.org/10.26650/B/SS28ET06.2023.006.11)
- Klaus O, Ümit İ. Cevher zenginleştirme hakkında ana bilgiler. IV(2).
[377683 \(dergipark.org.tr\)](https://doi.org/10.26650/B/SS28ET06.2023.006.11)