

HASAN ÇELEBİ MANYETİT CEVHERİNİN BORU HATTIYLA İSKENDERUN'A TAŞINMASI

M.Zeki Doğan*, Mustafa Doruk**, önerYüce!***,
A.Süha Sevük***, Metin Ger***

ÖZET

Ydda 0.25 ile 8.00 milyon arasında değişen tonajlardaki Hasacelebi manyetit cevherinin 400 km. uzaklıktaki İskenderun Demireük Fabrikalarına bom hattı ile taşınması konusunda ODTü'de yürütölmüş olan teknik ve mali fizibilite çalışmalarını tümüyle olumlu sonuçlar vermiştir, özellikle yılda 500 bin tondan fazla taşımalar için öngörölen boru hattı, gerek uygulanabilirlik ve gerekse taşıma maliyetleri ve döviz giderleri açısından çok uygun olmaktadır.*

ABSTRACT

The paper explains the research work carried out in the Middle East Technical University on the slurry pipeline transport of Hasacelebi magnetite ore for the annual tonnages ranging from 0.25 to 8 million tons fora distance of 400 km. For the tonnages above 500 000 tons, favourable results have been obtained regarding the applicability, the transport cost, and the foreign exchange currency savings.

*Prof.Dr., Maden Mühendisliği Bölümü, ODTu, Ankara
**Prof.Dr., Metalürji MÜhendisliği Bölümü, ODTU, Ankara
***Asst.Prof.Dr.inşaat Mühendisliği Bölümü ODTu, Ankara

1. GİRİŞ

Hasançelebi ile İskenderun arasında konsantre demir cevheri taşınması konusunda, Ulaştırma Bakanlığı, Ulaştırma Koordinasyon İdaresi için, Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarında yapılan teknik ve mali fizibilite çalışmaları tamamlanmıştır. Bu araştırma projesi ile ilgili cevher zenginleştirme etüdüleri Maden Mühendisliği Bölümü'nde ve korozyonla ilgili etüdüleri Metalürji Mühendisliği Bölümü'nde yapılmıştır.

Cevherin üretildiği kaynaktan fabrikada işlenmesi aşamasına gelinceye kadar yapılan giderlerden %60-80'e varan bir bölümünü taşıma giderleri oluşturmaktadır. Cevher taşımacılığında uygulanan belli başlı yöntemler, demiryolu, karayolu, bantlar (konveyör), havai hat (teleferik), nehir taşımacılığı (nehir navigasyonu), deniz ya da göl taşımacılığı, ve boru hatları ile hidrolik taşımadır.

Karayolu, bant ve havai hatla taşıma yöntemleri, tipik olarak 5-10 km. arasındaki mesafeler ve yılda 1.0 milyon tondan (150 ton/saat) az taşıma miktarları için elverişli olmaktadır.

Son yıllarda, demir yolu taşımacılığı ile ilgili en önemli gelişme, şimdilik yalnızca Kuzey Amerika ve Batı Avrupa'da gerçekleştirilebilmiş olan entegre tren sistemleridir. Bu tren sistemleri, her biri yaklaşık 100 ton kapasiteli ve biri birinden hiç ayrılmayan 100 kadar vagon oluşmakta, ve *tren*, çeşitli yükleme ve boşaltma durakları arasında olabildiğince sürekli ve büyük hızlarla çalıştırılmaktadır, öte yandan, özellikle büyük miktarlar ve uzun mesafeler söz konusu olduğunda, boru hatları ile cevher taşınması son çeyrek yüzyılın belkide en önemli teknolojik gelişmelerinden biridir. Teknik açıdan, herhangi bir irilikte ve özellikteki katı taneleri, borular içinde hidrolik (katı-sıvı karışımı), ya da pnömatik (katı-gaz karışımı) olarak taşınabilir. Bununla birlikte, özellikle ekonomik açıdan bu tür uygulamalar şimdilik belirli sınırlar içinde gerçekleştirilebilmektedir. Pnömatik taşıma konu dışında bırakılırsa, hidrolik taşımada taşıyıcı sıvı olarak hemen her zaman su kullanıldığı belirtilebilir. Diğer yandan, hidrolik taşımada en elverişli koşulların elde edilmesi açısından, taşınacak katıların ince taneler haline getirilmesi gerekmektedir. Katıların yoğunluğu arttıkça, gerekli tane boyu da küçülmekte, mikron düzeyinde konsantre cevherin taşınması elverişli olmaktadır. Çeşitli cevherlerin borularla taşınmasına ilişkin elverişli değerler Tablo Tde verilmiştir.

2. DEMİR CEVHERİ TAŞIYAN BORU HATLARININ DÜNYADAKİ UYGULAMALARI

Uzak mesafelere demir cevheri taşıyan boru hatlarından ilki Pickand

Tablo 1 : Çeşitli Cevherlerin Hidrolik Taşınmasına İlişkin Elverişli Değerler

Cevher Türü	özgül Ağırlık	En Büyük		Ağırlıksal Katı Oranı %	İşletme Hızı (m/s)
		Tane Çapı Meş	Mikron		
Gilsonit	1.05	4	4760	40-45	1.25
Kömür	1.40	8	2380	45-55	1.50
Kireçtaşı	2.70	48	297	60-65	1.10
Bakır	4.30	65	210	60-65	1.50
Manyetit	4.90	100	149	60-65	1.85

Mather Co. tarafından Tasmanya'da gerçekleştirilmiştir. 1%7'den bu yana, yılda yaklaşık 2.3 milyon manyetit cevherinin taşındığı 82 km. lik Savage River boru hattı, bu konuda önder ve örnek olmuştur (1).

Güney Afrika'da Binnie and Partners, U.K. tarafından yapılan çalışmalarda ise, yılda 3.6 ile 9.0 milyon ton arasında değişen miktarlarda demir cevherinin 152 ile 770 km. arasında değişen uzunluktaki beş ayrı boru hattı ile taşınabileceği sonucuna varılmıştır (2).

Hollanda'nın Europort Limanı ile Ruhr havzası arasında yılda 36.0 milyon ton gibi büyük bir miktarda demir cevheri taşınması konusunda yapılan çok yönlü ve geniş kapsamlı çalışmalar ise, 70 cm çaplı ve 210 km. uzunluğundaki bir boru hattının, bölgede gerek hız ve gerekse kapasite açısından yeterli, üstelik boru hattından kısa olan demir yolundan daha ekonomik çözüm olduğu sonucunu vermiştir (3,4).

ABD'de Minnesota eyaletindeki zengin manyetit cevheri yataklarından Chicago ve Pittsburgh ağır sanayi bölgelerinin beslenmesi konusunda yapılan geniş kapsamlı araştırmada da, yılda 6-7 milyon tondan büyük taşımalar için, boru hatlarının, bölgede bulunan gerek entegre demiryolu ve gerekse göl-kanal navigasyonu sistemlerine oranla daha ekonomik çözüm olduğu sonucuna varılmıştır (5).

Son olarak, tasarım ve inşaatı Bechtel Inc. tarafından gerçekleştirilen Brezilya'daki Samarco boru hattı ise 50.8 cm. çaplı ve 400 km. uzunluğunda olup, yılda 12.0 milyon ton demir cevheri taşımaktadır (6). Taşınan demir cevherinin çok aşındırıcı özellikleri olan hematit olması nedeniyle, Samarco boru hattı kendi sınıfında ilk örnek olmaktadır.

3. CEVHER ÖZELLİKLERİ

3.1 HASANÇELEBİ CEVHER ÖZELLİKLERİ

Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü'nce Eylül 1974'de hazırlanan "Hasançelebi Demir Madeni Yatağı İşletme, Zenginleştirme ve Peletleme Tesisleri Ön Fizibilite Etüdü" başlıklı rapora göre ömrü 20 yıl, ortalama tenörü %7.5 Fe olan Hasançelebi Cevher Yatağından yılda yaklaşık 22 milyon ton cevher üretileceği saptanmıştır.

Hasançelebi cevherinin demir tenörü düşük olduğundan, yüksek fırınlarda kullanılabilmesi için zenginleştirilmesi gerekmektedir. Zenginleştirme tesislerinde 3.6 milyon ton (toplam yıllık zenginleştirilmiş cevherin % 80'i), % 57.3 Fe'li sinteriik konsantre; 1.0 milyon ton/yıl (toplam konsantrenin % 20'si) %63.5 Fe'li peletlik konsantre olmak üzere toplam 4.6 milyon ton/yıl ortalama % 59 Fe'li son ürün elde edileceği öngörülmüştür.

MTA tarafından sonradan yayınlanan bir bildiri de 2.5 milyon ton (toplam yıllık konsantrenin % 52'si) peletlik konsantre olmak üzere ön fizibilite raporlarının hazırlanmış olduğu belirlenmiştir (7). Ayrıca pelet kalitesi bakımından peletlik konsantre tane boyunun en uygun değer olarak % 65'nin 325 meşten (45/um) küçük olması gerektiği saptanmıştır. Bu tane boyu değerleri boru hattı içinde su ile hidrolik taşınım için elverişli gözükmektedir.

Yüksek fırın işletmeciliği yönünden yüksek fırına beslenecek demir cevheri veya konsantresinde TiO_2 miktarının %0.25'i ve $(Na_2O + K_2O)$ alkali miktarının %0.5'i geçmemesi istenir. Yapılan deneylerde, uygun mekanik ve metalurjik özellikleri içeren pelet üretimi için yaklaşık % 55'i 45 mikrondan küçük (-325 meş) irilikte, $1200 \text{ cm}^2/\text{gram}$ özgül yüzeydeki peletlik konsantrenin (P-17 tipi) yeterli olacağı saptanmıştır.

Bu konsantreye ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Peletlik Konsantre Analiz Sonuçları

Konsantre Elementler	P-17 %
Toplam Fe	65.10
Fe*	20.15
SiO_2	4.77
TiO_2	0.74
Na_2O	0.15
K_2O	0.50

3.2. DENEYLERDE KULLANILAN MANYETİT CEVHERİ

ODTÜ Hidrolik Laboratuvarında kurulan pilot boru hattıyla yapılan deneyler için HasaeLebi peletlik konsantrenin yeterli miktarda temini mümkün olmadığından, bunun yerine, Divriği manyetit cevheri kullanılmıştır.

Divriği cevheri yaklaşık olarak 10-25 cm. iriliğinde olduğundan tümü 2 mm'ye kırılmıştır. Daha sonra bu ürün eleklerle kapalı devre çalışan iki bilyalı değirmende kuru olarak öğütülmüş ve son ürünün % 96.74' -100 meşe ve %78-81'i -200 meşe öğütülmüştür. Bu numunenin kimyasal analiz sonuçları Tablo 3' de verilmiştir.

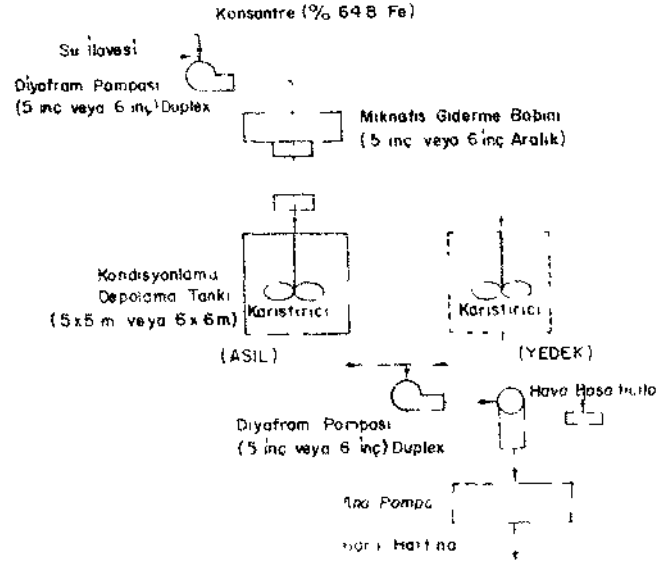
Tablo 3: Cevher Kimyasal Analiz Sonuçları

Element (%)	Divriği	HasaeLebi
Fe	61.41	65.10
SiO ₂	4.27	4.77
S	2.19	
Al ₂ O ₃	1.84	

4. BORU HATTINA CEVHER BESLEME VE BOŞALTMA SİSTEMLERİ

4.1. HASAELEBİDE BORU HATTINI CEVHERLE BESLEME SİSTEMİ

HasaeLebi'deki cevher zenginleştirme tesisinde, katı oranı % 80 olan, % 64.8 Fe içeren ve ağırlıkça % 551 45 mikrondan küçük (-325 meş) tanelerden oluşmuş, peletlik konsantre elde edilmesi öngörülmüştür (8). Bu konsantreyi boru hattına besleyecek sistemin akım şeması şekil 1'de verilmiştir. Karışımdaki ağırlıksal katı oranını boru hattı taşımasına elverişli olan % 50'ye indirmek için uygun miktarda suyun sisteme beslenmesi gerekecektir. Manyetit konsantresi, zenginleştirme işleminde manyetik ayırıcıdan geçirilmiş olacağından, mıknatıs özelliği kazanacak ve boru hattına beslendiğinde bir topaklanma (flokülasyon) eğilimi gösterecektir. Bu nedenle, boru hattına besleme işleminde önce, konsantrenin, doğru akım (DC) alanı yaratacak bir bobinden geçirilerek, mıknatıs özelliği giderilecektir. Mıknatıs giderme bobininden geçen karışım iki tane depolama tankına sevkedilmektedir. Biri asıl, diğerisi yedek görev yapması ngrlen bu silindirik tankların her biri içinde birer şaft ve pervane bulunmaktadır. Her



Şekil 1 Hasaңçetebt'de Boru Hattını Cevherle Besleme Sistemi Şeması

bir tankın hacmi, 2 saatlik karışım depolayabilmek üzere seçilmiştir. Depolama tankının altından alınan konsantre karışımı, bir diyafram pompasıyla boru hattına ilişkin ana pompaya basılmaktadır

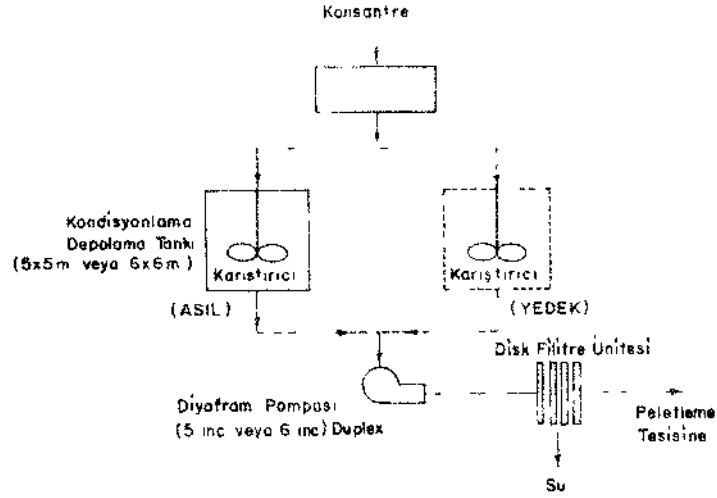
4.2. İSKENDERUN'DA BORU HATTINDAN BOŞALTMA SİSTEMİ

Boru hattında taşınan konsantre karışımının boşaltılması amacıyla, İskenderun'da kurulması öngörülen boşaltma sistemi Şekil 2'de gösterilmiştir. Boru hattı sonunda, öncelikle, iki tane depolama tankı öngörülmüştür. Bu tanklardan alınan karışım, bir diyafram pompasıyla disk filtrelelere, oradan da % 9 nem içeren konsantre elde edilmiş olarak peletleme tesisine verilecektir. Filtrelerden elde edilen artık suda, kullanma suyu olarak yararlanma açısından herhangi bir sakıncalı özellik bulunmayacaktır.

5. HASAÑÇELEBÎ - İSKENDERUN MANYETİT KONSANTRE BORU HATTI TEKNİK VE MALİ FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

5.1. HİDROLİK KRİTERLER

Boru hatlarında cevher taşıma ile ilgili tasarım çalışmalarında en önemli konulardan biri, karışımın güvenli işletme hızının belirlenmesidir. Boru hattının



Şeki! 2 iskenderun'da Boru Hattından Boşaltma Sistem! Şeması

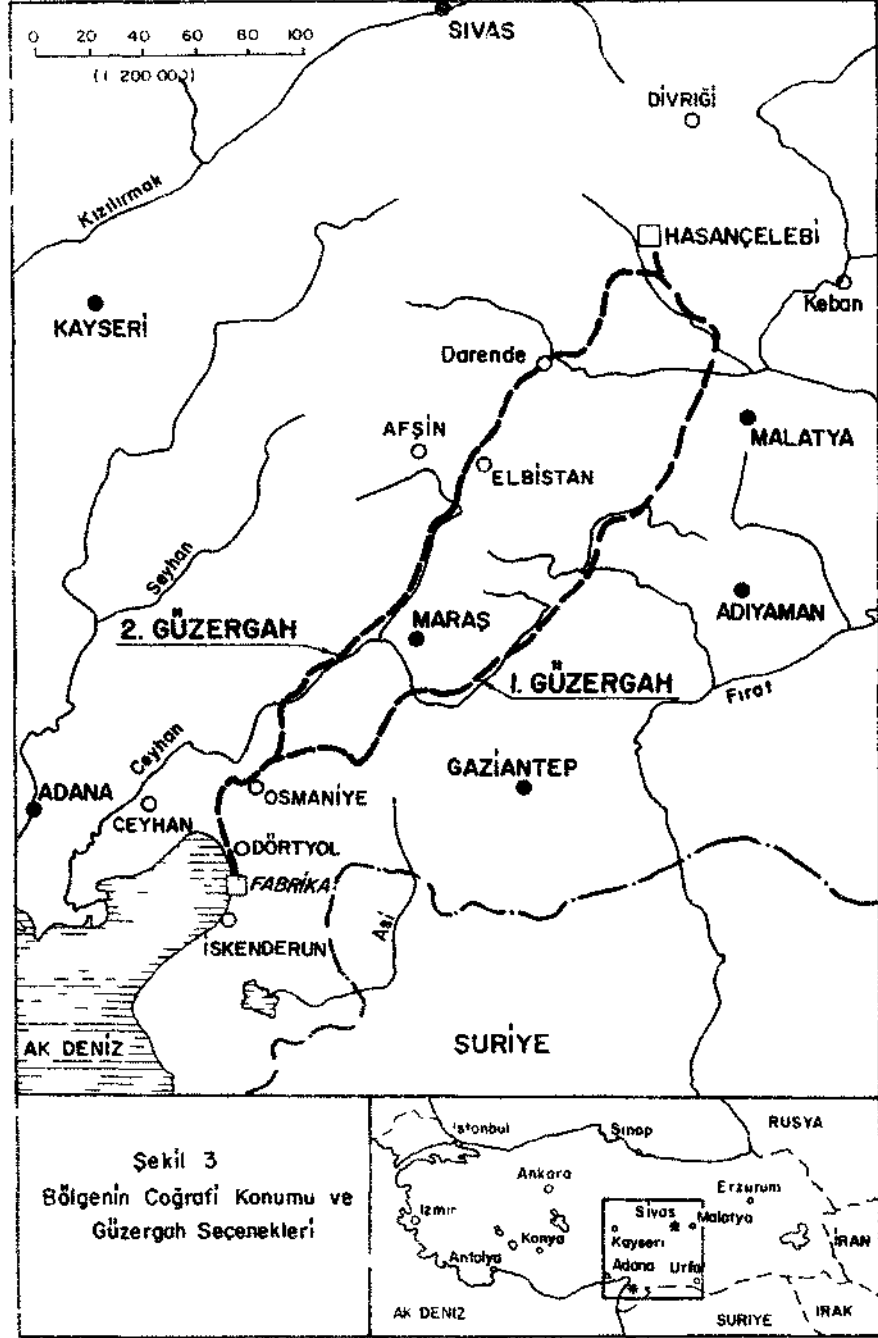
herhangi bir kesitindeki karışım hızı, kritik çökelme hızının altına düştüğünde, cevherin boru tabanında çökmesi, birikmesi ve giderek borunun tıkanması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, içinde öngörülen belirli bir oranda cevher bulunan karışımın kritik çökelme hızının en güvenli ve doğru bir biçimde saptanması kesinlikle zorunlu olup, boru hattı tasarımının temelini oluşturmaktadır. Çalışma konusu olan cevher boru hattının tasarım kriterlerini daha sağlam temellere oturtmak üzere, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Hidrolik Laboratuvar'ında bir pilot boru hattı sistemi kurulmuş ve cevherle bir dizi deney yapılmıştır.

5.2. GÜZERGAH SEÇENEKLERİ

Bölgenin topoğrafik haritaları üzerinde yapılan ayrıntılı incelemeler sonunda Şekil 3'de görülen iki güzergah seçeneği ortaya çıkmıştır. Büyük kısmı Hasançelebi - iskenderun arasındaki demiryolunu izleyen 1. Güzergahın toplam uzunluğu 400 km., Afşin - Elbistan ovası ve Ceyhan vadisini izleyen 2. Güzergahın toplam uzunluğu ise 380 km.dır.

5.3. OPTİMİZASYON YÖNTEMİ VE SONUÇLARI

Boru hattının tasarımı, geliştirilmiş olan bir optimizasyon yöntemini uygu-



Şekil 3
Bölgenin Coğrafi Konumu ve
Güzergah Seçenekleri

layan bir bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, taşınacak yıllık cevher miktarı bir tasarım parametresi olarak seçilmiştir. Optimizasyon hesaplarına göre önce 0.25, 0.50, 1.0, 2.0 ve 4.0 milyon ton/yıllık cevher taşıma miktarları için, daha sonra ise, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın isteği üzerine 6.0 ve 8.0 milyon-ton/yıllık miktarlar için de ayrı ayrı yapılmıştır.

İki güzergah seçeneği, her güzergah için tek ya da çift boru hattı, cevherin tane boyu, özgül ağırlığı ve tüm sistemin ekonomik ömrü de birer tasarım parametresi olarak ele alınmıştır. Finansman açısından, faiz oranı da bir tasarım parametresi olarak alınmış ve incelemeler % 12, % 14, % 16, % 18 ve % 20 faiz oranları için ayrı ayrı yapılmıştır.

Taşınacak her cevher miktarı ve boru çapına karşı gelen tek bir optimal karışım hızı ve ağırlıksal katı oranı kombinasyonu saptanmış, bu koşullara ilişkin enerji eğimleri ile topoğrafik koşullar ve pompa karakteristikleri birlikte ele alınarak, pompa sayıları ve pompa istasyonlarının yer ve sayıları belirlenmiştir.

İlk yatırım, işletme, bakım ve enerji giderleri, çeşitli faiz oranlarına bağlı olarak maliyetin şimdiki değeri (present worth) ve yıllık eşit yatırım değeri (annuity) biçiminde ayrı ayrı yapılmıştır. Taşınan yıllık cevher miktarlarının ve güzergah seçeneklerinin her biri için gerek toplam maliyeti ve gerekse döviz gereksinimini minimum yapan optimal çözümler elde edilmiştir.

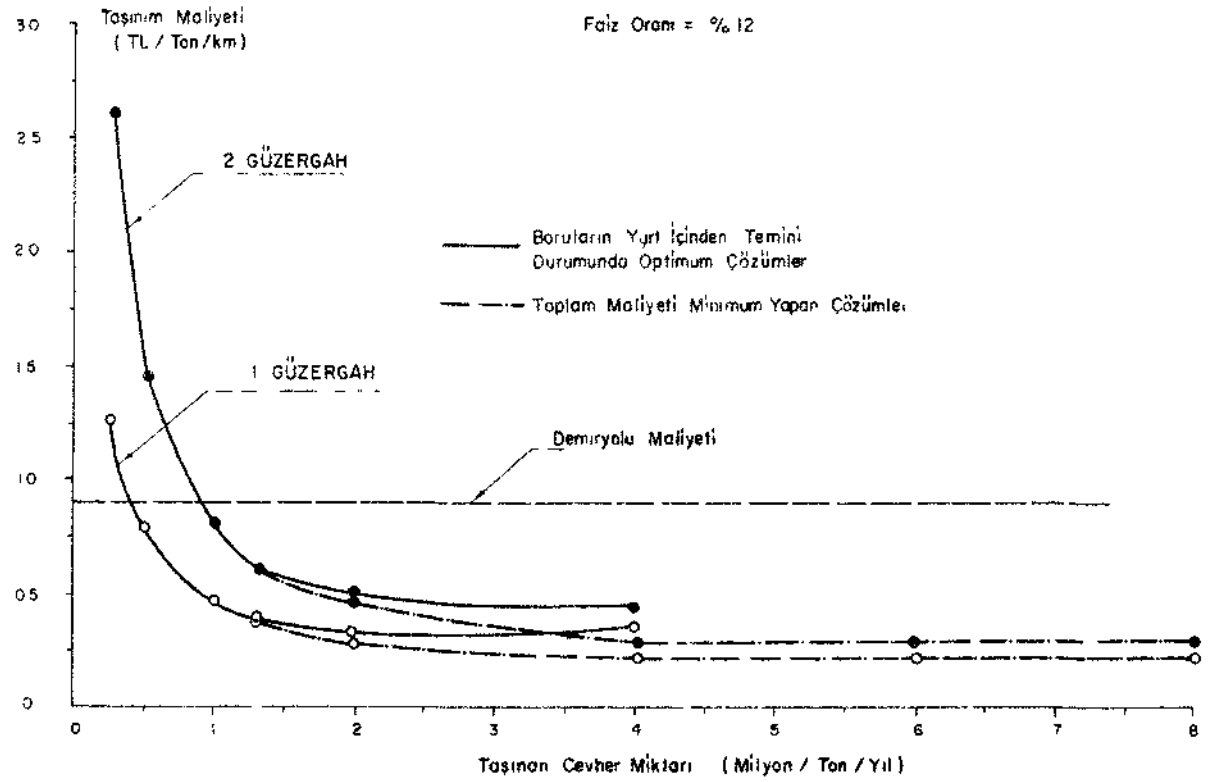
Optimizasyon hesapları sonunda aşağıda belirtilen önemli hususlar gözlenmiştir (9):

a. İç çapı 25 cm.ye kadar olan boruların kullanılması öngörülen sistemlerde, döviz gereksinimi toplam maliyetin yaklaşık % 10'u kadar olmakta, daha büyük iç çaplı borular için ise, bu oran % 50'ye kadar yükselmektedir. Bunun açık nedeni iç çapı 25 cm. den küçük dikişsiz çelik boruların, yurt içinden, MKE Kırıkkale Boru Fabrikalarından temin edilebileceği gerçeğidir. Daha büyük çaptaki boruların ise yurt dışından temin edilmesi gerekecektir.

b. Genellikle demiryolu hattını izleyen birinci güzergahın daha ekonomik olduğu görülmüştür. Birinci güzergaha ilişkin toplam maliyetler ikinci güzergaha oranla yaklaşık 900 milyon TL. daha azdır.

c. Her iki güzergahta da, tek boru hatlı sistemlerin çift hatlı sistemlere oranla genellikle daha ekonomik olduğu görülmüştür.

d. özellikle 20 milyon-ton/yıl ve daha büyük miktarlardaki taşımalar için, toplam maliyeti minimum olan çözümler yerine, boru çapı 25 cm.'den küçük olan ve yurt içinden sağlanabilen sistemlerin seçimi tercih edilmiştir. Çeşitli cevher taşıma miktarları için elde edilmiş, gerek toplam maliyeti ve gerekse döviz gerek-



Şekil 4 Taşınım Maliyelerini Minimum Yapan» çözümler

sinimini minimum yapan çözümler, örnek olarak % 12 faiz oranı için Şekil 4'de gösterilmiştir.

e. Söz konusu cevherin Hasacelebi'den iskenderun'a taşınması konusunda uygulanabilecek diğler bir yöntem de demiryolu taşımacılığıdır. TCDD tarafından saptanan değler, taşınan miktardan bağımsız olup, 0,875 TL/ton/km.'dir. Bu durumda Şekil 4'den açıkça görüldüğü gibi 500 000 ton/yıl'dan daha fazla olan cevher taşıma miktarları için boru hattı ile taşıma maliyetleri demiryolu ile taşımada çok daha ucuz olmaktadır (9). TCDD değlerinde gerekebilecek ek yatırım maliyetinin gözönüne alınmadığı da unutulmamalıdır.

f. Enerji ve güç gereksinimleri, her iki güzergah için de küçük olup, taşınan cevher miktarı ile artmaktadır.

g. Cevher besleme-boşaltma, kontrol, işletme ve enerji giderlerinin tümü, toplam yatırımın ancak % 10'u dolayında olmaktadır.

6. SONUÇLAR

a. Hasacelebi - İskenderun arasında var olan demiryolu hattıyla taşıma maliyeti gözönüne alındığında, söz konusu cevherin öngörülen boru hattıyla taşınması 500 000 ton/yıl'dan büyük miktarlar için en ekonomik çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.

b. Yalnız demir değil, kömür, bakır, alümina ve fosfat gibi başka cevherlerin de, özeÜikle uzun mesafelere taşınması konusunda, boru hatlarının ucuz ve güvenli bir seçenek olarak gözönüne alınması gerektiği bu araştırma ile bir kere daha saptanmış bulunmaktadır.

c. ön ve kesin proje çalışmaların yerli teknik elemanlarımızca gerçekleştirilmesinin ise; büyük çoğunlukla iç finansman ve ülke teknik olanaklarının kullanılmasıyla sağlanabilecek cevher boru hatlarının, ülke sanayi ve ekonomisinin en elverişli bir biçimde geliştirilmesine büyük katkıda bulunacağı kuşkusuzdur.

KAYNAKLAR

1. McDermott, W.F.: "Savage River Mines-The World's First Long Distance Iron Ore Slurry Pipeline (Savage Nehri Madenleri - Dünyanın Demir Cevheri Taşıyan İlk Uzun Mesafe Hattı)", Canadian Mining and Metallurgical, Vol. 73, Dec. 1970.

2. Nolan, H.G.B., and Drust, T.A.: "Long Distance Hydraulic Transportation of Slurries by Pipeline (Karıştımların Boru Hattıyla Uzun Mesafelere Hidrolik Olarak Taşınması)", Journal of the South African Mechanical Engineers, Vol, 20, No.3, March 1970.

3. Bahke, E. Und WelgeL T.: "Kostenvergleich Verschiedener Transport-systeme für den Erztransport (Cevher Taşıyan Çeşitli Sistemlerin Maliyet Açısından Karşılaştırılması)", Stahl und Eisen, Vol. 94, No. 19, 1974.

4. Weber, M. und Dedegil, Y.: "Hydraulischer Erztransport von Nordseehafen zum Ruhrgebiet (Kuzey Denizi Umanlarından Ruhr Havzasına Hidrolik olarak Cevher Taşınması)", Stahl und Eisen, Vol. 93, No. 9, 1973.

5. Pitts, J.D. and Aude, T.C.s "Iron Concentrate Slurry Pipelines-Experience and Applications (Demir Konsnatre Boru Hatları-TecrObe ve Uygulamalar)", Society of Mining Engineers, Am. Inst. of Mining Engrs., Vol., 262, June 1977.

6. Hill, RA., Deramelaere, R.H. and Jennings, M.E.: "samarco's 246 Mile Slurry Pipeline Is On Line, Successful and Delivering Abrasive Hematite (Samarco'nun 246 Millik Boru Hattı Aşındırıcı Hematit Cevherini Başarı İle Taşıyor)", Engineering and Mining Journal, Aug. 1978.

7. Doğu, A.: "Türkiye Maden Sanayii ve Mineral Değerlendirme Çalışmalarındaki Son Değerlendirmeler", Birleşmiş Milletler Mineral Ekonomisi Sempozyumu, Ankara, Nisan 1976.

8. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü: "Hasançelebi (Malayaty-Hekimhan) Demir Maden! Yatağı, İşletme, Zenginleştirme ve Peletleme Tesisleri ön Fizibilite özet Raporu", Eylül 1974.

9. Yücel, ö., Sevük, A.S., Ger, A.M., Doğan, M.Z. ve Doruk, M.: "Hasançelebi-Isken-derun Arasında Boru Hattı ile Demir Cevheri Taşınması Teknik ve Mail Fizibilite Etüdü-Sonuç Raporu", ODTÜ, Hid. Lab. (Ulaştırma Bakanlığı UKİ 5.129), Şubat 1978.