

# EREĞLİ KÖMÜRLERİ İSLETMESİNDE KOZLU BÖLGESİNDE ÇIKARILAN KÖMÜRLERİN ZONGULDAK MERKEZ LAVVARINA HİDROLİK YOLLA TAŞINMASI

**Abdulgani EŞİYOK (\*)**  
**Şinasi ESKİKAYA (\*\*)**

## ÖZET

Kömürün, Kozlu - Zonguldak arasındaki 5060 m uzunluğundaki boru hattı ile taşınımı araştırılmıştır.

Taşıma için gerek duyulan su, Kozlu yöresinden sağlanabilmektedir. Hidrolik koşulların sağlanabilirliği ve lavvarın yıkama kapasitelerinin uygunluğu göz önüne alınarak, malzeme boyutu 0-10 mm olarak seçilmiştir. Kömürün bu boyutta taşınması ile heterojen askı hareketi rejimi elde edilerek, boru yük kayıpları ve pompaj koşulları bu rejime göre gerçekleştirilmiştir.

Güzergah düz bir sahil şeridinden geçirilmektedir. Borular bir kanal içerisine yerleştirilerek, korozyona karşı koruyucu kaplama ve katodik korunma yöntemleri uygulanmaktadır.

Tesislerin ilk yatırım giderleri 690 milyon TL ve kömür taşınımının ton başına birim maliyeti 95.— TL olarak bulunmuştur.

(\*) Maden Yük. Müh., Anadolu Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., ESKİŞEHİR.  
(\*\*) Doç. Dr. Maden Yük. Müh., I.T.Ü. Maden Fakültesi, İSTANBUL.

## ABSTRACT

The transportation of coal by pipe line between Kozlu and Zonguldak was investigated.

It was determined that the water for the pipe line would be supplied from the Kozlu district and the particle size of the coal was of 0-10 mm. The motion of the coal particles was considered to be heterogen suspension and the charge last of the pipe and the pump were chosen according to the information above.

The route followed an even coast line, and the pipes were installed in a channel, and the precautions such as lining, cathode connection were taken against corrosion.

The investment cost is estimated to be 690.885.000 TL, and unit cost of coal transportation 95 TL per ton.

### 1. KATILARIN HİDROLİK NAKLİ

Yeterli hızda bir boru içerisinde akmakta olan suya bir kömür ya da herhangi bir katı taneciği atıldığında, onların su tarafından taşındığı görülecektir. Boru içerisindeki bir sıvı akımı ile katıların taşınımına «katıların hidrolik taşınımı» denir.

Hidrolik taşınım ilk olarak 1984 de ABD Pensylvania da bir maden yangının söndürülmesi amacıyla, ince artık malzemenin borularla madene pompalanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Modern anlamda uygulamalara ise 1950 yılından sonra başlamıştır.

Türkiye'de cevher taşıyan ilk boru hattı, 1972 yılında Murgul-Hopa arasında işletmeye açılmıştır. Boru hattı uzunluğu 63 km. boru çapı 12,7 cm, yılda taşınan cevher miktarı 0,3 milyon ton'dur.

Hidrolik taşınımın yaygınlaşmasının nedenleri;

- a. İlk yatırım, toplam yatırımın % 70-80'i kadardır. İşletme ve bakım giderleri, toplam yatırım içerisinde az bir pay alır.
- b. Demiryolu hattı inşasına göre daha ucuzdur ve bakımı kolaydır.
- c. iklim koşullarından bağımsız olduğundan işletme verimi yüksektir.

- d. Taşınan cevher miktarındaki değişiklikler için elverişli hidrolik koşullar, karışımın debisi ve cevherin ağırlıksal konsantrasyon oranı düzenlenerek sistem ekonomik biçimde işletilebilir.
- f. Taşınım sırasında cevher miktarında herhangi bir değişiklik olmaz. Cevher boyutundaki değişimler genellikle önemsizdir.
- g. Kamulaştırma ve benzeri giderler azdır. Estetik ve çevreye etkileri bakımından sorun yaratmazlar.
- h. Engelibeli güzergahlardan geçirilmesi az sorunlu olmaktadır.

Çeşitli cevherlerin taşınmasına ilişkin elverişli tane boyutları Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1 — Çeşitli Cevherlerin Hidrolik Taşınımına İlişkin Elverişli Değerler**

| <b>Cevher türü</b> | <b>Yoğunluk</b> | <b>Tane çapı (mm)</b> | <b>Ağırlıksal katı oranı (&lt;%)</b> | <b>İşletme hızı (m/sın)</b> |
|--------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Gilsonit           | <b>1.05</b>     | <b>4.760</b>          | <b>40-45</b>                         | <b>125</b>                  |
| Kömür              | <b>1.40</b>     | <b>2.380</b>          | <b>45-55</b>                         | <b>1.80</b>                 |
| Kireçtaşı          | <b>2.70</b>     | <b>0.297</b>          | <b>60-65</b>                         | <b>1.10</b>                 |
| Bakır              | <b>4.30</b>     | <b>0.210</b>          | <b>60-65</b>                         | <b>1.50</b>                 |
| Manyetit           | <b>4.90</b>     | <b>0.149</b>          | <b>60-65</b>                         | <b>1.85</b>                 |

Kurulacak boru hattı başlıca şu ünitelerden oluşur. Cevherin taşınması için elverişli boyuta getirilmesinde ve boru hattına pompalanmasında kullanılan ilk hazırlama tesisleri, boru hattı, pompa istasyonları ve kömürü sudan ayırma tesisleri.

## 2. KOZLU BÖLGESİ

Kozlu Bölgesi, Ereğli Kömürleri İşletmesine bağlı olarak 9 km<sup>2</sup> lik bir alanda faaliyet gösterir, ihsaniye ve İncirharmanı bölümleri bu bölgeye bağlıdır.

üretim alanları kuzeye kaydığından denizaltı çalışmaları gündeme gelmektedir. Zonguldak - Kozlu demiryolu hattında bulunan iki tünel altında bırakılan 17 milyon ton rezerve sahip kömür topuk alınmadığından üretim, güney ve güneydoğu alanındaki -425 ve -500 kotları arasındaki kömüründe alınmasıyla tamamen kuzeye kayacaktır.

Kozlu Bölgesi üretimi, EKİ toplam kömür üretiminin % 27 sini oluşturmaktadır. Geçmiş yıllarda 1.8 milyon ton/yıl tüvenan ve 1 milyon ton/yıl satılabilir kömür üretilmiştir.

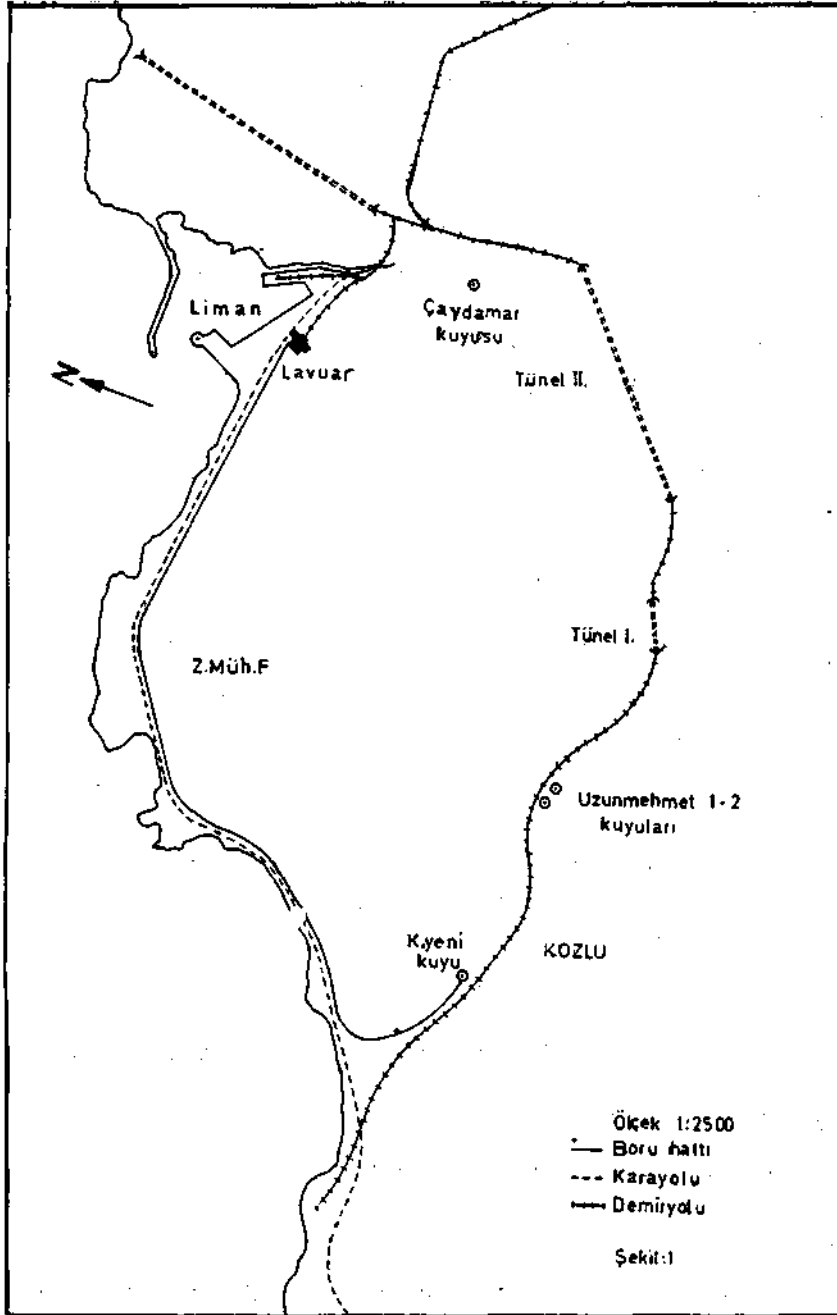
## 3. VAR OLAN TAŞIMA SİSTEMİ

Kozlu kömürleri yukarıda sözü edilen demiryolu hattından Zonguldak Merkez lavvarına getirilmektedir (Şekil 1).

1 No'lu tünel 274 m, 2 No'lu tünel 1350 m uzunluğundadır. Büyük tünel günümüzde hareketine devam eden midi fayı tarafından kesilmektedir. Tünel altındaki topuk sınırlarına dayanan üretim çalışmaları nedeniyle, topuktan kömür çalınmaktadır. Bu yüzden büyük tünelde deformasyonlar oluşmuştur. Sürekli bir taşımanın yapılması giderek olanak dışı kalmaktadır.

Ancak üretim alanlarının azalması, denizaltı çalışmalarının güçlükleri, tünel altındaki topuktan üretim çalışmalarının başlatılma nedeni olmaktadır. Bu kömürün alınması için iki ayrı çalışma yapılabilir. Birincisi, demiryolu hattına ve tünellere zarar veremeyecek bir üretim yönteminin seçilmesi, ikincisi demiryolu hattından ve tünellerden vaz geçerek, yeni bir ulaşım sisteminin geliştirilmesidir.

ikinci seçenekte yapılabilecek çalışmalardan birisi, Zonguldak « Kozlu arasında bir boru hattı ile kömürün taşınma olanaklarının araştırılmasıdır.



Şekil 1. Zonguldak - Kozlu Var Olan Ulaşım Sistemleri ve Karışım Boru Hattı Güzergahı.

## \*. ZONGULDAK MERKEZ LAVARI

Kömür boru hattı ile merkez lavvarına taşınacaktır. Hidrolik taşımaya elverişli kömür boyutları ile lavvarın değişik boyutlardaki kömür yıkama kapasiteleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

Kozlu ve Üzülmez kömürleri bu lavvarda yıkanır. Lavarda 10 000 -11000 ton/gün kömür yıkanarak, 6 000 - 6 500 ton/gün yıkanmış kömür elde edilir. Lavvarın üç yıkama ünitesi olup, kapasiteleri 250 ton/saat'tir. Bu üniteler flotasyon, ağır mayi, Baum-acco kasalan sistemleridir.

Ayrıca 150 ton kapasiteli ve 10 adet tüvenan kömür silosu vardır.

Lavvarın yıkama kapasitesini belirlerken Ocak-Temmuz 1981'deki 6 aylık rakamlara bakılmıştır. Aynı tarihlerde yıkama ürünü durumu aşağıda verilmiştir.

|            |   |               |
|------------|---|---------------|
| Tüvenan    | : | 2066587 ton   |
| Yıkanan    | : | 1 823 981 ton |
| Lave ürünü | : | 1046 053 ton  |

## 5- KOZLU BÖLGESİ SU KAYNAKLARI

Kömürü taşımada kullanılacak su miktarı 9 000 m<sup>3</sup>/gün olarak bulunmuştur. Günde 20 saat çalışıldığında 450 m<sup>3</sup>/saat miktarında suya gerek duyulacaktır.

Ağır mayi ünitesi devreye girdiğinde lavvar su gereksinimi 32 800 m<sup>3</sup>/gün olacaktır. Bu suyun temininde güçlük çekilmektedir. Su projelerinden bir tanesinde, Kozlu ocak sularının lavvara taşınmasıdır. 450 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli bu sudan kömürün taşınmasında yararlanılacaktır.

Lavvara karışımla gelen 450 m<sup>3</sup>/h miktarındaki su, yine lavvarın yıkama sistemlerinde kullanılacağından bir sorun yaratmayacaktır.

Karışım boru hattı ile getirilen 450 m<sup>3</sup>/h'lik su ile birlikte lavvara temin edilen su 27100 m<sup>3</sup>/gün olmakta ve 437 m<sup>3</sup>/h'lik bir su açığı görülmektedir.

Karışım boru hattı için yeterli miktarda su vardır. Boru hattı ile lavvara getirilen su, yıkama tesislerinde kullanılarak sorun yaratmamakta ve lavvarın var olan su gereksinimine cevap vermektedir.

Kozlu Bölgesi su kaynakları için Ek'e bakınız.

## 6. KOZLU - ZONGULDAK BORU HATTININ TEKNİK YÖNLERİ

### 6.1. Karışımın Fiziksel özellikleri

#### 61.1. Tane Çapı

Tane çapının seçiminde hidrolik taşınım yapılabirlik ve lavvar yıkama kapasitelerine uygunluk üzerinde durulmuştur.

**Çizelge 2 — Ocak-Temmuz 1981 Tüvenan Kömür Elek Analizi**

| Elek açıklığı<br>(mm) | Miktar<br>(ton) | P<br>(%) | Kül<br>(o/o) |
|-----------------------|-----------------|----------|--------------|
| 50-100                | 135 555         | 7,95     | 80,15        |
| 18-50                 | 334 289         | 19,61    | 70,72        |
| 10-18                 | 245 719         | 14,42    | 56,66        |
| 6-10                  | 155 620         | 9,13     | 48,08        |
| 0,5-6                 | 535 934         | 31,44    | 41,15        |
| -0 5                  | 297409          | 17,45    | 41,17        |
|                       | 1 704 526       | 100,00   |              |

**Çizelge 3 — Karışım Boru Hattı ile Taşınan Kozlu Kömürlerinin Boyut Dağılımı (Yıllık tüvenan)**

| Elek açıklığı<br>(mm) | 0-10 mm lik kömür |           | 0-6 mm lik kömür |           |
|-----------------------|-------------------|-----------|------------------|-----------|
|                       | P (o/o)           | M (ton)   | P (o/o)          | M (ton)   |
| 6-10                  | 9,48              | 178318    |                  |           |
| 0,5-6                 | 70,72             | 1 330 243 | 75,10            | 1412 631  |
| -0,5                  | 19,80             | 372 438   | 24,90            | 468 369   |
|                       | 100,00            | 1880 999  | 100,00           | 1 881 000 |

Tane çapının belirlenmesinde kömür 0-18, 0-10, 0-6 ve 0-3 mm gruplarında incelenmiştir.

0-18 mm grubunda ortalama tane çapı 4 - 4,5 mm olmaktadır. Lavvr kapasitelerine uygunluk sağlanır, ancak taşınım için gerekli hidrolik koşulların sağlanması gttr. Taşınım sırasında malzeme boru tabanına çöker. kmeyi önlemek için akım hızı büyük seçilir. Bu yüzden boru yük kaybı değerleri fazlalaşır. Uygun pompaj koşullarını oluşturmak pahalı ve gttr.

0-10 mm gurubu; izelge 2 ve 3 birlikte incelendiğinde, lavvarda kapasite açısından bir sorun yaratmadığı görülür. Ortalama tane çapı 2-2,5 mm olmaktadır. Taşınım için gerekli hidrolik koşullar sağlanabilir. Ayrıca Ereğli Demir elik Fabrikalarında, kok ünitelerinde 0-10 mm lik kömür kullanıldığı gözönüne alınırsa, Kozlu - Zonguldak boru hattında taşınacak kömür boyutlarının 0-10 mm ile sınırlandırılması gerektiği görülür.

0-6 ve 0-3 mm gurubunun ortalama tane çapları 1,5 mm ile 1 mm arasındadır. Boru hattı taşımacılığı için gerekli koşullar kolaylıkla sağlanır. Lavvar kapasitesi yetersiz kalmaktadır. Kömür hazırlama ve kömürü sudan ayırma tesisleri maliyetleri yüksek olacağından bu boyutlar tercih edilmemiştir.

Yukarda belirtilen faktörlerin etkisi ile malzeme 0-10 mm de boyutlandırılmış ve buna bağlı olarakta ortalama tane çapı;

$$d_{or} = 2,4 \text{ mm}$$

olarak belirlenmiştir (Bkz. Ek).

### 6.1.2- Hacımsal Konsantrasyon

Boru hatlarında, kömür taşımacılığında yaygın olarak kullanılan hacımsal konsantrasyon % 40-50 dir. Zonguldak - Kozlu boru hattında buna göre hacımsal konsantrasyon % 40 olarak belirlenmiştir.

$$C_v = \frac{V_i}{V_m} = \frac{40}{100} = 0.4$$



### 61.3. Ağırlıksal Konsantrasyon

Taşınacak malzemenin, karışımın toplam ağırlığına oranıdır.

$$C_A = \frac{S_s \cdot C_v}{1 + C_v(S_s - 1)} = \frac{0,4 \cdot 1,3}{1 + 0,4(1,3 - 1)} = \mathbf{0,46}$$

### 6.1.4. Karışımın Yoğunluğu

$$S_m = 1 + C_v(S_s - 1) = 1 + 0,4 \cdot 0,3 = 1,12 \text{ t/m}^3$$

### 6.1-5. Taşıyıcı Suyun Miktarı

İstenilen konsantrasyonda katı malzemenin taşınabilmesini sağlayacak su miktarı aşağıdaki formülle bulunur;

$$V_{su} = Q \cdot \frac{S_s - S_m}{S_m - S} = \frac{1,3 - 1,12}{1,12 - 1} \cdot 6000 = 9000 \text{ m}^3/\text{gün}$$

### 6.1.6. Tane Çökme Hızı

Tane çökme hızı, laminer ve tam türbülanslı bölge için verilen iki ayrı ifadenin tatonmanı sonucu bulunur. Bulunan son iki  $C_D$  değeri aynı olduğundan tatonmana son verilir. Bulunan  $C_D$  ve  $W$  tane çökme hızı değerleri aşağıda verilmiştir (Bkz. Ek).

$$C_D = 0,6 \quad "W = 12,5 \text{ cm/sn}$$

Engellenmiş tane çökme hızı;

$$W_E = 8,15 \text{ s } 8 \text{ cm/sn}$$

değerini alır. Buna göre yeni  $C_D$  ve  $Re$  değerleri şöyledir;

$$Re = 174 \quad C_D = 0,7$$

### 6.1-7. Boru Çapı ve İşletme Hızı

işletme hızı, kritik hızın 1,1 katı kadar seçilir (Bkz. Ek).

Karışım hacmi ifadesi, boru çapına bağh olarak şöyledir. Günde 16 saat çalışılacağı kabul edilmiştir.

$$V_s = 161873 \cdot D^{2,5}$$

Ağırlıksal konsantrasyon (% 46 bulunmuştu) dikkate alındığında taşınacak cevher miktarı aşağıdadır.

$$O_{\text{ton}} = V_r \cdot 0,46 = 74462 \cdot D^2,5$$

İstenen miktarda karışımın taşınabileceği uygun boru çapı ve işletme hızı değerleri yukardaki ifadeden bulunabilir.

11730 m<sup>3</sup>/gün miktarındaki karışımı ve 5400 ton/gün (16 saat) kömürü taşıyacak boru çapı ve işletme hızı değerleri aşağıdadır.

$$D = 0,35 \text{ m} = 35 \text{ cm}$$

$$V_c = 1,9 \text{ m/sn}$$

$$V = 2,1 \text{ m/sn}$$

### 6.1.8. Boru Yük Kayıpları

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{210 \times 35}{0,011} = 668181$$

18°C deki suyun kinematik viskozitesi  $\nu$ , 0,011 cm<sup>2</sup>/sn dir. Boru hattında çelik borular kullanıldığından pürüzlülük «e»

$e = 0,045$  mm olarak seçilir.

f Darcy sürtünme katsayısı Re ve D/e'ye bağlı olarak

$f = 0,0125$  değerinde bulunur.

Buna göre sıvı fazın piyezometrik eğimi  $U$ ,

$u = 0,008$  olarak bulunur.

Karışımın  $i_m$  piyezometrik eğimi ise,

$i_m = 0,046$  değerini alır.

Boru hattı uzunluğu 5060 m olduğundan, toplam boru yük kaybı  $H_m$ ,

$$H_m = L \cdot i_m = 5060 \times 0,046 = 233 \text{ m. olarak bulunur (Bkz. Ek).}$$

## 6.2. Kömür Hazırlama Tesisleri

İri kırma ve ince kırma işlem' erinden geçirilen kömür, elverişli hidrolik koşulların sağlanması için gerek duyulan boyutlarına getirilir.

iri kırmada yer alan 200 ton/saat kapasiteli iki çeneli kırıcı kömürü 100 mm boyutta kırar, ince kırma 200 ton/saat kapasiteli iki adet konili kırıcı ve 290 ton/saat teorik kapasiteli iki adet mardaneli kırıcıdan oluşmuştur. Kömür sırasıyla 35 mm ve 10 mm'ye kırılır (Bkz. Ek).

Gerekli enerji miktarı aşağıda verilmiştir.

|                  | <b>Gerekli Enerji</b> | <b>Motor gücü</b> | <b>Toplamı enerji</b> |
|------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
|                  | <b>kW saat/ton</b>    | <b>kW</b>         | <b>kW</b>             |
| Çeneli kırıcı    | 0,2                   | 50                | 80                    |
| Konili kırıcı    | 0,36                  | 90                | 144                   |
| Merdaneli kırıcı | 0,5                   | 125               | 200                   |

Kömür hazırlama tesisi akım şeması Şekil 2'de gösterilmektedir.

## 7. BORU HATTI VE POMPALAR

### 7.1. Boru Malzemesi

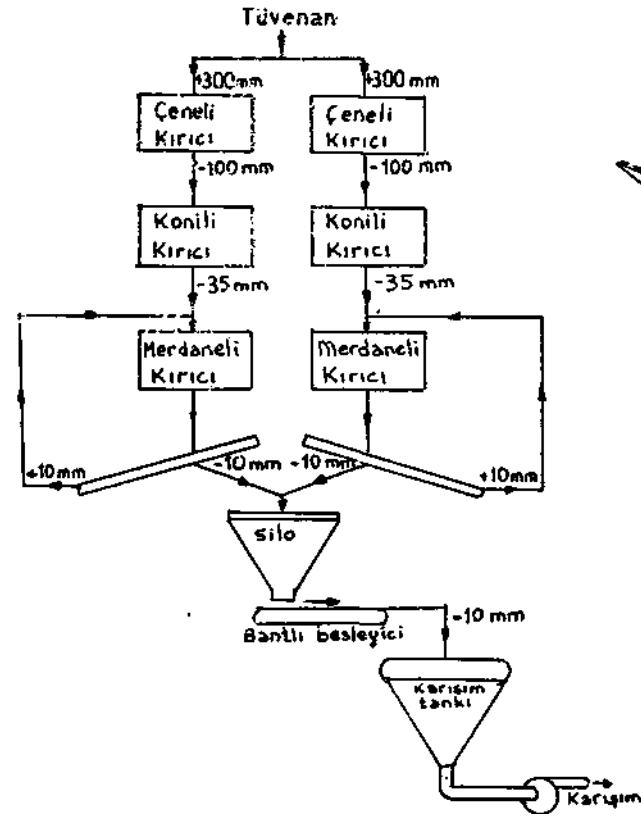
Kozlu - Zonguldak boru hattında kullanılacak borular, aşınmalara karşı fazla dirençli çelik boru tiplerinden seçilmelidir. Bu borular 10-15 m uzunluğa kadar imal edilmekte ve kaynakla birleştirme yapılmaktadır (Bkz. Ek).

### 7.2. Borularda Aşınma ve Korozyona Karşı Korunma

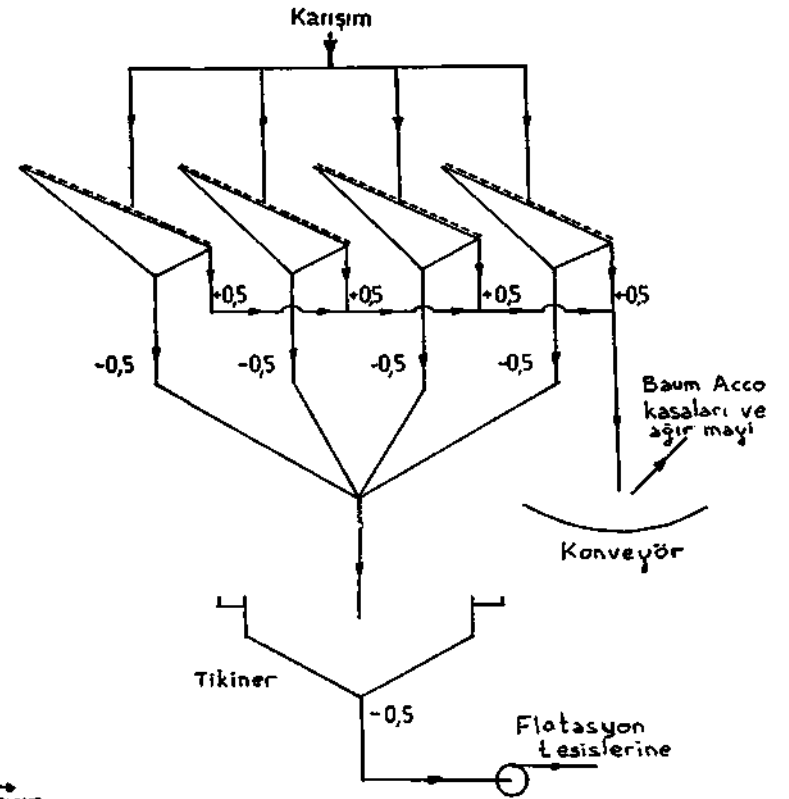
Boru ve pompa cidarlarında aşınma ve korozyon olayları birlikte görülmektedir, iki ana başlık altında incelenir.

#### 7.2.1- Karışımlarda Erozyon ve Korozyon

Suda çözülmüş oksijen miktarı fazlalığı korozyonu arttırır. Sert sularda  $CaCO_3$  boru iç yüzeyine yapışarak korozyonu yavaşlatır. Oksijen bakımından zengin olmayan yumuşak sularda korozyon hızı düşüktür. Korozyon pH değerinin azalmasıyla artış gösterir. Bu yüzden starın pH değerleri  $NCl$  ve  $NaOH$  kullanarak yükseltilir.



KÖMÜR HAZIRLAMA TESİSİ AKIM ŞEMASI



KÖMÜRÜN SUDAN AYRILMA TESİSİ AKIM ŞEMASI

Şekil 2

### 6.2.2. Dış Korozyon

Boru cidarı çevresindeki maddelerin elektriksel geçirgenliği korozyonu etkiler. Geçirgenlik fazla ise korozyon fazladır. Zemin direncine göre çelikte korozyon hızı aşağıdadır.

| Zemin özdirenci (ohm/cm) | Ortalama korozyon hızı (mm/yıl) |
|--------------------------|---------------------------------|
| < 1.000                  | 0.18                            |
| 1.000 — 12.000           | 0.08                            |
| > 12.000                 | 0.03                            |

### 7.2.3. Dış Korozyondan Korunma

- Borunun dış yüzeyini kömür katranı ile katranlamak
- Poliken gibi yalıtım maddeleri ile sararak izole etmek
- Katodik korunma yöntemi.

Katodik korunma yönteminde, boru ile zemin arasında oluşan elektrik akımından daha büyük bir akımın boru yüzeyine verilmesidir. Kurbanlık anot ya da redresör-transformatör sistemleri uygulanmaktadır.

### 7.3. Boru Et Kalınlığının Belirlenmesi

Aşınma çok değişik etkenlere bağlı olduğu gibi kontrol altına alınabilen bir olgudur. Bu yüzden et kalınlığının belirlenmesinde ileri sürülen teorik yaklaşımlar tatminkar sonuç vermezler. Deneysel çalışmalar ise bir kaç yıl sürmektedir.

J. POSTLETWALTE ve E.B. TINKER (1973)'e göre %30 hamsal konsantrasyonda ve 2,1 m/sn akım hızında kömür için korozyon 0.25 cm/yıl'dır.

Hız, konsantrasyon ve karışım türü benzeşim gösterdiğinden, boru aşınma miktarı 2,5 mm/yıl olarak belirlenebilir.

Boru hattının 20 yıl boyunca boru değiştirmeden çalıştırılacağı tasarlandığında et kalınlığı 50 mm olarak seçilmelidir.

#### 7.4. Boru Yerleştirme Tekniği

Boru hattı, Kozlu - Zonguldak yeni sahil yolunu izleyecektir. Virajlarda dirsek yarıçapları en az 7 m olarak seçilmelidir. Boru hattının eğimi %2,5 dir. Bu eğimin kısmi olarak aşıldığı yerlerde, %5'lik eğimi sağlayabilecek şekilde hafriyat yapılmalıdır. 12 r? uzunluğundaki borular, 70 cm genişliğinde, 1,5 m derinliğinde açılan kanallara yerleştirilir. Kanalda yapılan kaynaklar için kanal tabanından 50 cm aşağıda olan, yanlarada 100 cm uzayan çukurlar açılır.

Koruyucu kaplamada, boru iyice temizlendikten sonra yapışkan bir madde ile astarlanır. 12 ve 15 cm genişliğinde, 0,4 mm polietilen filmi ile sarılır. Sargılanmış boru 7500 den daha küçük ya da 8000 den büyük olmayan voltajda, holiday dedektör ile teste tabi tutulur.

#### 7.5. Pompalar

Boru hatlarında üç tip pompa kullanılmaktadır.

1. Hacımsal pompalar : Pistonlu, rotatif, dişli, paletli, diyaframlı.
2. Türbo (rölatif) pompalar : Santrfüj, helisel, tam eksenli.
3. Jet-emme pompalar.

Var olan karışım pompalarının uygun kullanma sınırlarına bakıldığında, Zonguldak-Kozlu boru hattında santrfüj pompaların kullanılması gerektiği görülür.

##### 7-5.1. Santrfüj Pompalarda Verim ve Çalışma Bölgesi

Pompa seçiminde, temiz su için  $i_1 = f(Q)$ , karışım için  $i_m = (fQ)$  karakteristiğine bağlı olarak, boru yük kayıpları ile pompa terfi yükseklikleri arasında ilişki kurulur.

$$i_1 = K \cdot Q^2 \qquad i_s = 0,0394 \cdot K \cdot \frac{1}{Q}$$

$$i_m = i_1 + i_s = \frac{K}{Q} (Q^3 + 0,0394)$$

Toplam yük kaybı değeri ise aşağıdadır.

$$h_m = i_m \cdot L$$

Boru hattında 14" X 12" SRL-C DENVER santrfüjlü pompası kullanılacaktır. Pompanın en büyük terfi yüksekliği 36,5 m dir.

Farklı debi ve yük kaybı değerleri seçilerek, verilen koşullarda boru hattının kaçınıcı metresine kadar karışımın basılabileceği bulunur.

Bir SRL-C Denver pompası ile %65 verimde, 0,2 m<sup>3</sup>/sn debideki karışımı 750-800 m'ye basmak olanaklıdır. Boru hattı uzunluğu 5060 m idi, 40 m'de ek kayıplar için eşdeğer uzunluk olarak alındığında çalıştırılacak pompa sayısı;

$$5100/750 = 7 \text{ olarak bulunur.}$$

Yedi adet seri bağlı pompanın toplam terfi yüksekliği, % 65 verimde ve 0.20 m<sup>3</sup>/sn debide 34 m olduğundan, erişilen terfi yüksekliği ise;

$$7 \times 34 = 238 \text{ m. dir.}$$

Motor tarafından pompaya verilen enerji  $N_e$ ; 114 kW dır.

## 8- KÖMÜRÜN SUDAN AYRILMASI

Kömürü sudan ayırma tesisi akım şeması Şekil 2'de verilmiştir. Kömürü kurutmadan, elek sistemleri ve çöktürme yöntemiyle sudan ayırarak su-katı oranı düşürülmekte ve lawara gönderilmektedir.

Elek açıklığı 0,5 mm, boyutları 2,5 X 4 m olan 4 elek kullanılacaktır. Herbir eleğe 50 ton/saat kömür beslenerek, toplam 200 t/h kömür elenecektir, 0,5 mm altındaki kömür flotasyon tesislerine gönderilmeden önce koyulaştırıcılara alınacaktır. Koyulaştırıcılarda (Thickener) giren sıvı pülp oranı 85/15, çıkışta sıvı-pülp oranı 55/45, tank çökme alanı 3841 ft<sup>2</sup>, koyulaştırıcı çapı 21 m.'dir.

## 9. EKONOMİK VE MALİ ANALİZ

Yılda 2 milyon ton cevher taşınması için gerekli toplam yatırım aşağıda sunulmuştur.

| Gider No.'su                          | Yatırım tutarı<br>(TL.) |
|---------------------------------------|-------------------------|
| 1. Boru malzeme giderleri             | 322 322 000             |
| 2. Boru hattı inşa giderleri          | 33575 053               |
| 3. Pompa istasyon giderleri           | 20748000                |
| 4. Kömür hazırlama tesis giderleri    | 131800000               |
| 5. Silo inşa giderleri                | 10537 800               |
| 6. Motorlar                           | 9191000                 |
| 7. Redüktörler                        | 15 470000               |
| & Kömürü sudan ayırma tesisleri       | 57241600                |
| Toplam sabit yatırım                  | 600885453               |
| İşletme sermayesi (%15 sabit yatırım) | 90000000                |
| Toplam yatırım                        | 690885453               |

İşletme giderleri ve ton başına şarj aşağıda verilmiştir.

| Gider No.'su        | Yıllık tutar<br>(TL.) | Ton başına<br>şarj<br>(TL/ton) |
|---------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 1. Direk giderler   |                       |                                |
| İşçilik             | 57033 600             | 28,52                          |
| Bakım               | 7237 000              | 3,62                           |
| Enerji              | 72432 000             | 36,22                          |
| 2. Endirek giderler |                       |                                |
| İşçilik majorasyonu | 22494 000             | 11,25                          |
| 3. Genel giderler   |                       |                                |
| İdari giderler      | 6427000               | 3,21                           |
| TOPLAM              | 165 623600            | 82,81                          |
| 4. Amortismanlar    | 25134000              | 12,56                          |
| GENEL TOPLAM        | 190 757600            | 95,37                          |



## 10. SONUÇLAR

Boru hattı ile cevherlerin taşınımı ülkemizde ve dünyada giderek yaygınlaşmaktadır. Bu konudaki teorik yaklaşımların inandırıcılığı % 40'dır. Bu yüzden projelendirmede özellikle tane çökelme hızı, boru yük kayıpları, pompa tipinin seçimi konularında laboratuvar ve kurulacak pilot tesiste deneysel çalışmalar yapılmalıdır.

Boru hatlarının ekonomikliği, güzergah uzunluğu ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Tane çaplarının küçük olması, taşınım için gerekli hidrolik koşulların sağlanmasındaki kolaylık bakımından tercih edilir. Ancak, bu da hazırlama ve sudan ayırma tesislerinin maliyetlerini artırır.

Zonguldak - Kozlu boru hattında su temini ve kömürü sudan ayırma konularında güçlükler yoktur. Boru hattı ile getirilen su lavvarda kullanılmaktadır. Kömürü tamamen kurutmaya gerek yoktur. Tane boyutu dağılımı lavvarın yıkama kapasitelerine ek yapılmasını gerektirmemektedir. Yeni tesisler olarak kömür hazırlama, pompa istasyonu ve boru hattı kurulacaktır.

Boru hattı taşıma giderlerinin 96-95 TL. olması, diğer sistemlere göre pahalı olduğunu kanıtlar. Ancak bunun nedeni boru hattının kısa olmasıdır. Verimli bir taşımaya göre büyük tutulmuş tane boyutları küçültüldüğünde, lavvarın kurulu kapasitesi yeterli olmamaktadır.

Boru hattı ile hidrolik taşımının uygulanabilir olacağını yutardaki sakıncaları koyarak söylemek olanaklıdır.

## EK

### Zonguldak Merke« Lavvarını Besleyen Su Kaynakları;

|   |             |
|---|-------------|
| — Degirmenağzı tesisleri                    | 400 mVh     |
| — Çaydamar ocak suları                      | 80 »        |
| — Karışım boru hattı<br>(Kozlu ocak suları) | 450 »       |
| — Acılık deresi                             | 200 »       |
| — Var olan depolar                          | 340 »       |
| Günde temin edilen su                       | 27100 mVgün |

### Zonguldak Lavvarınının 437mVh'lik Açığını Kapamak için Yararlanılması Düşünülen Su Kaynakları;

|                              |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| Kılıçlar galeri sızıntı suyu | 120 m <sup>3</sup> /h |
| Ilıksu deresi                | 750 »                 |
| öküşne deresi                | 420 »                 |
| Çaydamar ocak suyu           | 70 »                  |
| üzülmez ocak suları          | 450 »                 |
| Kozlu ulutan barajı          | 330 »                 |
| Tikinerler                   | 1000 »                |

Çizelge 4 — Çelik Boruların Kimyasal Bileşimi ve Mekanik özellikleri

|              | Akma<br>sının<br>(kg/mm*) | Çekme<br>dayana<br>[kg/mm*) | Kimyasal bileşim % |           |       |       |      |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------|-------|-------|------|
|              |                           |                             | C                  | Mn        | P     | S     | Si   |
| A 53 Grade A | 21.1                      | 33.7                        | 0.25               | —         | —     | 0.48  | -    |
| Grade B      | 24.6                      | 42.2                        | —                  | —         | —     | 0.48  | —    |
| A106 Grade A | 21.6                      | 33.7                        | 0.25               | 0.27-0.93 | 0.048 | 0.058 | 0.10 |
| Grade B      | 24.6                      | 42.2                        | <b>0.30</b>        | 0.29-1.06 | 0.048 | 0.058 | —    |
| 5 L Grade A  | 21.1                      | 33.7                        | 0.22               | 0.90      | 0.04  | 0.05  | -    |
| 5 L Grade B  | 24.6                      | 42.2                        | 0.27               | 1.15      | 0.04  | 0.05  | -    |
| 5 L - X 42   | 29.5                      | 42.2                        | 0.29               | 1.25      | 0.04  | 0.05  | —    |
| 5 L - X 46   | 32.3                      | 44.3                        | 0.32               | 1.25      | 0.04  | 0.05  | —    |
| 5 L - X 52   | 36.6                      | 46.4                        |                    |           |       |       |      |

### Kömür Hazırlama Tesisindeki Kırıcıların özellikleri;

|                           |                         |              |
|---------------------------|-------------------------|--------------|
| Çeneli kırıcı             | : Adedi                 | 2            |
|                           | Giren malzeme boyutu    | : 300 mm.    |
|                           | Çıkan ürün boyutu       | : 100 mm.    |
|                           | Küçültme oranı          | • 3          |
|                           | Kapasite                | 200 ton/saat |
| Konili kırıcı<br>(symons) | : Adedi                 | 2            |
|                           | Çıkış açıklığı          | 35 mm.       |
|                           | Koni çıkış çapı         | 130 cm.      |
|                           | Kapasite                | 200 ton/saat |
| Merdaneli kırıcı          | : Adedi                 | 2            |
|                           | Küçültme oranı          | 3.5          |
|                           | Maksimum tane çapı      | 35 mm.       |
|                           | Minimum tane <apı       | 10 mm.       |
|                           | Merdane çapı            | 100 cm.      |
|                           | Merdaneler arası mesafe | lern-        |
|                           | Merdane eni             | 150 cm.      |
|                           | Merdane devir sayısı    | 80dev/dak.   |
| Teorik kapasite           | 290 ton/saat            |              |

## 1. BORULARDA KATI - SIVI KARIŞIMI AKIMLARIN HİDROLİĞİ

Katı maddenin borudaki sıvı hareket rejiminin belirlenmesi ve karışım hareketi sırasında oluşacak gelecek yük kayıtlarının belirlenmesi ana sorundur. Katı sıvı karışımların borulardaki hareketi sırasında hidrolik olaylar, karışımın çökelen ya da çökelmeyen olmasına göre önemli farklılıklar gösterir, iri tanelerden oluşan karışım çökelen karışım olup, tanelerin boru tabanında birikmesi karışım hızının yüksek tutulması ile önlenir. Çok ince tanelerden oluşan karışıma çökelmeyen karışım denir. Taneler boru tabanında birikmez.

### 1-1. Çökelen Karışımların Hareketi

Tane çapı, tane çökme hızı ve akım hızına bağlı olarak farklı akım bölgeleri gözükür.

- Boru tabanına yayılmış katı madde, akım hızının küçük değerlerinde harekete geçmez. Katı madde taşımını yoktur.
- Sürüntü hareketi yapan katı madde, malzemenin bir kısmı boru tabanında hareketsizdir. Akım hızı biraz fazladır.
- Askı halinde taşınan katı madde, tanelerin büyük kısmı boru tabanına yakın hareket ettiğinden dağılım uniform değildir.
- Askı halinde taşınan katı madde, taneler tamamen uniform olmasa bile boru eksenine simetrik olarak dağılırlar. Akımın hızı tane çapına göre 1 - 8 m/sn'dir.

## 1.2. Çökelen Karışımların Fiziksel özellikleri

Taşıyıcı ortam su olduğundan karışımın öz direnci söz konusu edilmez. Hesaplamalarda suyun kinematik viskozite değeri alınır. Çökelmeyen karışımlarda karışımın kinematik viskozitesi bulunur.

### 1.2.1. Tane Çapı

Tane çapı elek analizleri sonucu saptanır. Kömür tane çapları düzgün dağılım göstermediğinden ortalama tane çapı kullanılır.

$$d_{or} = \frac{0.5 P, d,}{\% P} \quad d, = \frac{d_1 + d_3}{2}$$

### 1.2.2. Taşıyıcı Suyun Hesabı

$$V_{su} = Q_k \frac{S_s - S_m}{S_m - S} \quad (\text{m}^3/\text{gün})$$

### 1.2.3- Karışımın Debisi

$$Q = \frac{V_r}{t} \quad (\text{m}^3/\text{sn})$$

### 1.2.4. Tane Çökelme Hızı

Sakin suya bırakılan katı tane, belirli bir müddet hızlanan hareket yaptıktan sonra, sabit bir hızla çökelmeye devam eder. Çökelme anında suyun katı taneye gösterdiği dirence, katı tane ağırlığının eşit olmasıyla erişilen sabit hıza «Çökelme hızı» denir.

Tatonman yapılarak bulunur. Tatonmana Stokes kanununun geçerli olduğu laminer akım bölgesi için verilen ifadeden başlanır.  $Re < 1$  bölgesidir.

$$W = \frac{1}{18} \frac{g}{\nu} (S_s - 1) d^2$$

Bu çökme hızına göre tane Reynolds sayısı bulunur.

$$Re_* = \frac{W d}{\nu}$$

$1 < Re_* < 2000$  ise viskoz kuvvetlerle aynı büyüklükte türbülans çalkantılarından ileri gelen kuvvetler vardır.  $C_D$  değeri,

$$C_D = \frac{24}{Re_*} + \frac{3}{\sqrt{Re_*}} + 0,34$$

Türbülanslı bölgede, bu  $C_D$  katsayısına göre tane çökme hızı,

$$W = \sqrt{\frac{4}{3} g (S_s - 1) \frac{d}{C_D}}$$

ifadesinden bulunur. Bu hıza karşılık gelen laminer bölgedeki  $Re$  sayısı bulunarak tatonmana, son iki  $C_D$  değeri eşitleninceye kadar devam edilir. En son  $C_D$  değerine karşılık gelen hız tane çökme hızıdır.

Bu ifadeler tek bir tane için geçerlidir. Birbirine çok yakın taneler incelendiğinde, çökme anında hız alanlarındaki karışmadan dolayı çarpışmaların meydana gelerek çökmenin engellenmediği görülür. Engellenmiş çökme hızı şöyle ifade edilir;

$$W_B = W - \Delta W = 1,2 \cdot W \cdot C_p^{2/3}$$

## 1.2-5. Boru Yük Kayıpları

Karışım akımlarında karışımı oluşturan katılar, temiz su akımından oluşan kayıplara ek bir yük kaybı getirir.

Temiz su akımından dolayı oluşan yük kaybı Darcy - Weisbach formülü ile hesaplanır.

$$h_t = f \cdot \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

f Darcy sürtünme katsayısıdır, akımın Reynolds sayısı ve borunun relatif pürüzlülüğüne bağlı olarak Moody abağından bulunur.

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{Relatif pürüzlülük} = e/D$$

Türbülanslı pürüzlü bölgede Nikurades - Prandtl bağıntısıyla f katsayısı hesaplanmalıdır.

$$f = \frac{1}{\left(2 \log \frac{D}{e} + 1,74\right)^2}$$

Katı madde taşınması halindeki yük kayıpları akım rejimlerine göre ayrı hesaplanmaktadır. Bu akım rejimlerini kritik hız ifadesi belirlemektedir. Hareketli tabanlı akım, heterojen askı hareketi ve homojen askı hareketi rejimleri vardır.

## 1.2.6. Kritik Hız «V<sub>c</sub>» nin Belirlenmesi

Kritik hız; hareketli tabanlı akımı heterojen askı hareketinden ayıran önemli bir özelliktir.

Kritik hız tüm malzemenin çökelmeksizin hareket haline geçtiği hızdır. Çökme olmaması için akım hızının kritik hızdan büyük olması gerekmektedir. Kritik hızda belirli bir malzeme konsantrasyonu için yük kayıpları en az olmaktadır.

Kritik hız değerini veren bir çok bağıntı vardır. Hesaplamalarda en büyük kritik hız değerini veren Durand - Condolios bağıntısı kullanılmıştır.

$$F_L = \frac{V_c}{\sqrt{2 \cdot g \cdot D (S_s - 1)}}$$

2 mm den yukarı tanelerde, uniform malzeme için tane çapı ve konsantrasyona bağlı kalmaksızın  $F_L$  değeri 1,34 olarak seçilir.

#### J 2-7. Heterojen Askı Hareketinde Yük Kayıpları

Kritik hızın üzerindeki akım hız<sup>1</sup> arında görülen akım rejimidir. Boru hatlarında en çok kullanılan rejimdir. Kozlu - Zonguldak boru hattındaki akım rejiminde heterojen askı hareketi olarak seçilmiştir. Yük kayıpları bu rejimdeki yük kaybı bağıntılarına göre bulunmuştur.

Birçok bağıntı arasından Durand'ın verdiği bağıntı seçilmiştir. Durand, 46 ve 580 mm boru çaplarında 0,2 - 25 mm lik, özgül ağırlıkları 1,05 ve 1,6 arasında değişen tanelerle yaptığı çalışmaların sonucunu şu formülle vermiştir.

$$\frac{i_m - i_1}{i_1 C_v} = \left\{ 81 \frac{g D (S_s - 1)}{V^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{C_b}} \right\}^{1,5}$$

$i_1$  temiz sudaki piyezometrik eğimdir ve aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$i_1 = \frac{h_L}{L}$$

## NOTASYONLAR

- $V_s$  : Katıların hacmi  
 $V_m$  : Karışımın hacmi  
 $S_s$  : Katıların suya göre yoğunluğu  
 $O_s$  : Bir günde nakledilecek katı madde miktarı  
 $C_D$  : Katı tanenin sakin suda çökme hızına eşit sabit bir hızla hareketi sırasında, suyun taneye etkilediği direnç kuvvetine ait boyutsuz sir katsayıdır. Direnç ya da sürüklenme katsayısı denir.  
 $\%P_i$  : i'inci sınıftan malzemenin ağırlığının, toplam malzemeye oranı (% olarak)  
 $d_i$  : i'inci sınıftan malzemenin tane çapı (mm)  
 $\%P$  : Toplam malzeme miktarı (% 100 olarak alınır).  
 $d_1$  : (i-1) inci sınıftan elek açıklığı  
 $d_2$  : i'inci sınıftan elek açıklığı

## KAYNAKLAR

1. ESKİKAYA, Ş., Hidrolik Nakliyat Ders Notlan.
- 2- Boru hatlarının teknik ve işletme karakteristikleri, alt yapı maliyeti ve işletme giderleri. İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik ve Su Kuvvetleri Kürsüsü tarafından Ulaştırma Bakanlığı UKİ işbirliğince hazırlanmıştır. Yayın No. : (199.088) UKİ 5.094, Mayıs 1976.
3. Hasaңçelebi - İskenderun arasında boru hattı ile demir cevheri taşınmasına ait teknik ve mali fizibilite etüdü sonuç raporu. ODTÜ Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı tarafından hazırlanmıştır. Yayın No- : UKİ. 5.129, Şubat 1978.
4. BAYRAKTAR T.C., Cevher Hazırlamada Zenginleştirme öncesi İşlemler. İTÜ Matbaası, Sayı : 992,1974.
- 5- Transport en conduites verticales et inclinées et pertes de charge singuliers- Chapitre V, Transport Hydraulique et refoulement des mixtures, Sy: 365
6. NEWITT D.M., RICHARDSON J.F., ABBOT M., Hydraulic conveying of solids in hofizontal pipes. Trans, instin ehem. engres. Vol. 33, 1955.
7. WORSTER R., Hydraulic transport of solid Material in pipes.
8. DURAND R-, Chen de LARA G., Vitesse de chute des grains de sable dans les fluides en milieu infini. La Houille Blanche, sy: 254, Mai 1953.
9. CONDOLIOS E-, CHAPUS E- E., Operating Solids Pipelines. Chemical Engineering Jully, 1963 Sy: 145.
10. GARF W.H., ACAROĞLU E.R., Sediment Transport in conveyance systems. Reprint from the publication of the Internationa association of scientific hydrology 13, Année, Nos. 2 and 3,1963.