

Madenlerin Düşey Hidrolik Nakli

Ergin ARIOĞLU *

1. Giriş :

Katı maddelerin herhangi bir akışkanla nakli endüstrinin çeşitli dallarında önemli bir yer kaplamaktadır. Bu prosesin maden mühendisliğinde iki önemli uygulama sahası vardır.

Uygulama sahası şunlardır :

- i — Cevherin, ocaktan cevher hazırlama tesislerine veya bir başka yere hidrolik olarak nakli.
- ii — Yeraltı maden işletmeciliğinde açılan imalât boşluklarının ramble malzemesi ile doldurma operasyonunda; malzemenin boru içinde hidrolik olarak imalât boşluğuna kadar nakli.

Geniş uygulama sahası olan hidrolik naklin, Maden Mühendisliği ile en yakın ilişkisi hidrolik ramble çalışmalarıdır. Hidrolik kazının uygulama sahasının artması neticesinde kömürün düşey olarak yeraltından, yeryüzüne hidrolik nakli, Maden Mühendisliğinde büyük bir önem kazanmıştır.

Yeryüzünde kullanılan hidrolik nakil, çeşitli mühendislik disiplinlerinin (hidrolik, makina, maden, kimya) meşgul olduğu çalışma sahasıdır.

Tebliğinde; cevherlerin yeraltından yeryüzüne hidrolik olarak yapılan naklinin, teorisi, tatbikatı ve ve neticeleri ile ilgili önemli hususlar anlatılacaktır.

2. Düşey Hidrolik Nakil :

2.1. Tarif :

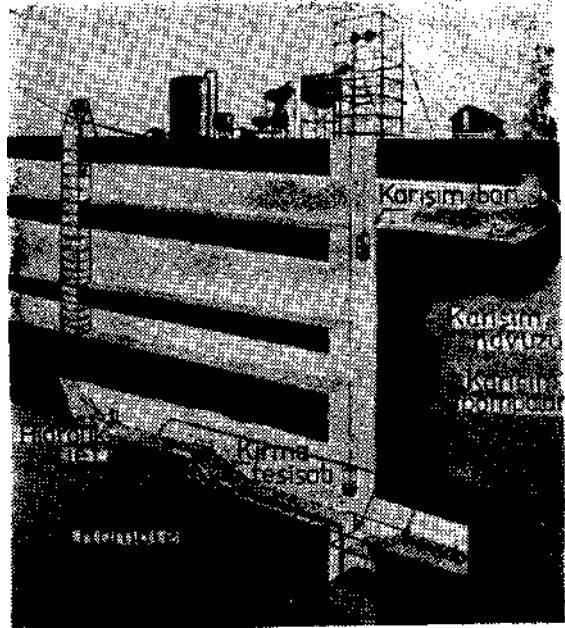
Cevherlerin düşey hidrolik nakli basınçlı akımlarda minimum enerji tüketimi ile maksimum cevher miktarının, belirli iki nokta arasında düşey olarak nakli şeklinde tariflenir. Belirli iki noktadan biri yeraltı nakliyat seviyesinde diğer nokta ise yeryüzünde bulunur. Hidrolik kazının yapıldığı bir gilsonit işletmesinde uygulanan düşey hidrolik naklin prensip şeması Şekil -1 de görülmektedir.

3. Düşey Hidrolik Naklin Teorisi :

3.1. Genel :

Cevherlerin düşey hidrolik naklinde gerekli enerji miktarının tespiti projelendirme bölümünde önemli bir rol oynamaktadır. Bu probleme ilâveten;

* Mad. Yük. Müh. I.T.Ü. Maden Fakültesi Asistanı



cevherleri boru içinde çöktürmeyecek karışım hızının tayini de çok önemlidir. Projede kullanılacak karışım hızı, katı maddenin boru içinde çökmesini tanımlayan kritik karışım hızından daima büyük olmalıdır. Düşey hidrolik nakilde karışım hızı cevherin serbest çökme hızından büyük olmalıdır. Böylelikle düşey hidrolik nakil projesinde genel olarak iki önemli problemin mevcudiyeti ortaya çıkar.

1° — Gerekli tulumba enerjisinin tespiti için boru şebekesinde meydana gelen yük kayıplarının hesabı.

2° — Boru şebekesinde çökmeyi önleyecek karışım hızının tayini. Bilhassa, kritik karışım hızının tayini, yatay hidrolik nakil projesinde çok önemlidir.

Yukarıda belirtilen iki problemin çözümü, düşey hidrolik nakil projesinin temelini teşkil eder. Problemlerin çözümü, karışım halinde akan cevher ve sıvı maddelerinin birbirlerine olan tesirlerinin incelenmesi ve anlaşılmasına bağlıdır [1J.

Bugün için bu iki problemin çözümünü kesin bir şekilde veren hidrolik nakil teorisi mevcut değildir. Hidrolik nakil olayına etki eden parametre sayılarının çok olması teorisinin kurulmasını güçleştiren en büyük nedendir. Mühendislikte kullanılan düşey hidrolik naklin formül ve neticeleri tamamen deneysel çalışmalardan elde edilmiş olup, ampirik mahiyettedirler.

Tebliğde, düşey hidrolik nakil üzerinde yapılan çalışmaların neticeleri kısaca verilmeye çalışılacaktır. Ayrıca, verilen formüllerin daha iyi anlaşılmasını sağlamak bakımından da pratik mahiyette bir nümerik proje yapılacaktır.

3.2. Düşey Hidrolik Nakil üzerinde yapılan çalışmalar ve mevcut Teorilerin izahı.

3.2.1. Düz Boruda Yük kaybı :

Literatürde verilen düşey hidrolik nakil karışım yük kayıp formülleri aşağıda özetlenmiştir :

Schmid (1933) de aşağıdaki formülü vermiştir. [2] [3] [4]

$$J = \lambda \frac{v^2}{2g D} \cdot (D)$$

Formüle kullanılan İşaretler :

- J Karışımın birim boru sürtünme kaybı
- λ Boru sürtünme katsayısı
- V Ortalama kurşun hızı
- D Boru iç çapı
- g Yerçekimi İvmesi

Schmid « λ »'yı ampirik olarak şu şekilde tariflemiştir. [2] [3] [4]

$$\lambda = \left(0,03 + \frac{0,0018}{\sqrt{v \cdot D}} \right) \cdot 8 \quad \dots \dots (2)$$

7 karışımın (sıvı + katı) özgül ağırlığı. (2) formülünde V (m/sn), D (m) ve γ (ton/m³) alınarak (A,) hesaplanacaktır.

Katı maddenin düşey hidrolik naklinde en detaylı çalışmayı (1935) de Durand yapmıştır. Bu çalışmada düşey hidrolik nakle tesir eden parametrelerin neler olduğu detaylı olarak araştırılmıştır.

Durand, deneylerini şu büyüklükler arasında yapmıştır : [5] [6] [7] [8]

- Katı maddenin (kum) özgül ağırlığı 2,65
- Kum tanelerinin büyüklüğü (0,21-0. 89-4>mm
- Boru çapı (1,5-6) inç
- Hacimsel katı madde konsantrasyonu 1-17 %
- Karışım hızı 27-5,4 m/sn

Durand'ın deney sonuçları şöyle özetlenebilir : [6] [7] [8] [9]

— Karışımın (kum-su) hız profili temiz suyun hız profili ile çakışmıştır (Şekil - 2 [6])

— Karışımın boru sürtünme kaybı ; sadece temiz suyun aynı şartlarda akmasından dolayı meydana gelen sürtünme kaybı kadardır. (Şekil - 3 [6])

Düşey bir boruda karışımın yük kaybı (alman iki nokta arasında) ; suyun akmasından oluşan sürtünme kaybı ve suda süspansiyon halde bulunan katıların hacimlerinin statik tesirlerinin cebrik toplamıdır.

Yukardaki ifade, aşağıdaki formüller ile bellidir. [5, 6, 7, 8, 10]

$$\text{(yukarıya doğru akım)} \quad H_1 = L \cdot J + \left(\frac{\gamma}{\gamma_0} - 1 \right) L \quad \dots \dots (3)$$

$$\text{(aşağıya doğru akım)} \quad H_2 = - L \cdot J + \left(\frac{\gamma}{\gamma_0} - 1 \right) L \quad \dots \dots (4)$$

Formüllerde kullanılan İşaretler şunlardır :

- H₁, H₂ Karışımın yük kaybı.
- γ Karışımın özgül ağırlığı olup $\gamma = (1 - K \cdot \gamma_0 + K \cdot \gamma_k) \dots (5)$ formülü ile bellidir.
- γ_0 Taşıyıcı ortamın özgül ağırlığı K karışımın hacimsel katı madde konsantrasyonu :

$$K = \frac{V_k}{V_k + V_0} \quad \dots \dots (8)$$

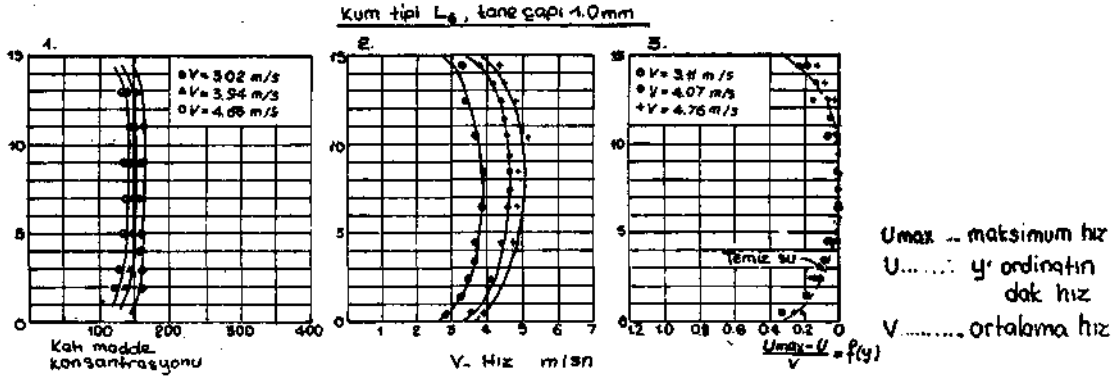
formülü ile hesaplanır.

V_t katı madde hacmi

V₀ taşıyıcı ortamın hacmi (su hacmi)

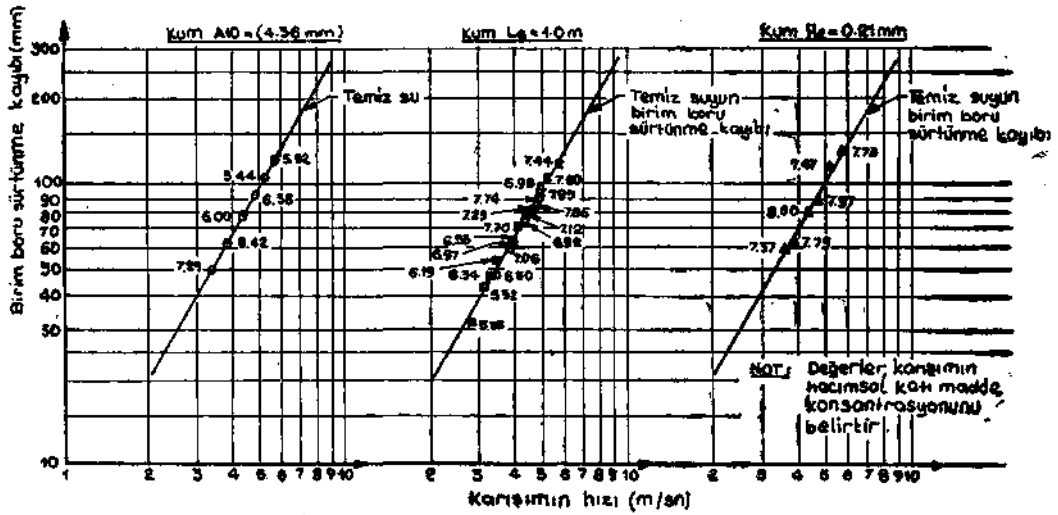
γ_k katı maddenin özgül ağırlığı

L iki nokta arasındaki geometrik uzunluk @ek. 4 [7])



Şekil 2 — Kum tipi L_6 ile yapılan deneylerin neticeleri (Boru çapı $D=150 \text{ mm}$ dir)

- 1 Kağıt madde konsantrasyonunun boru kesiti içindeki değişimi
- 2 Mühtelif ortalama hızların boru kesiti içinde değişimi (Turbulans hız profilleri)
- 3 $\frac{U_{max} - U}{V} = f(y)$ değişimi (Kağıt madde ihtiva eden kısıma ait noktalar temiz suyun eğrisine tekdüze etmektedir)



Şekil 3 — $J = f(V)$ Eğrisi

(Karışımın sürtünme kaybı; suyun sürtünme kaybı kadardır, boru çapı $D = 150 \text{ mm}$ dir.)

J. Suyun birim boru sürtünme kaybı olup

$$J = \gamma \frac{v^2}{2gD} \quad \dots \dots (7)$$

formülü ile tariflidir. (7) formülünde

A. Boru sürtünme katsayısı,

V. Karışımın ortalama hızı,

D. Boru iç çapı ve

g. Yerçekim ivmesi'dir.

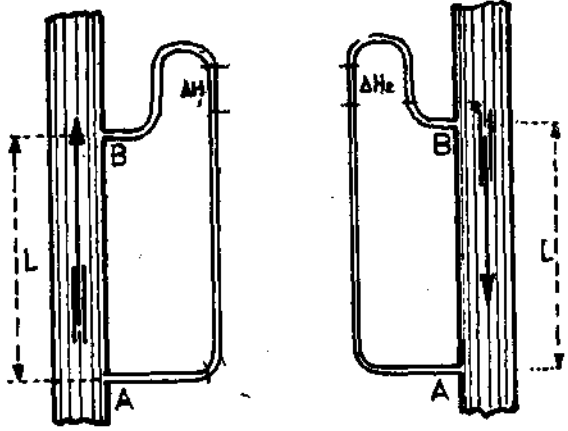
Newitt (1961) de düşey hidrolik nakil üzerine bir seri deneyler yapmıştır. [8] Newitt deneylerinde şu büyüklükleri kullanmıştır.

Boru çapı.....1-2 inç

Ortalama tane büyüklüğü.....0,0076" — 0,15"

özgül ağırlık.....1,2 - 4,20

Maksimum kağıt madde konsantrasyonu.% 30



Şekil 4

Kumun özgül ağırlığı.....	k = 2,707 gr/cm ³
Kum çapı (ortalama).....	d = 2,58 mm
Kumun çökme hızı.....	V _k = 0,231 m/sn
Karışım hızı.....	V = 4,83 — 6,15 m/sn
Hacimsel konsantrasyon.....	K = % 0-7
Boru çapı.....	D = 3 İnç
Deneyde değiştirilen boru eğimleri.....	0°, 11°, 25°, 22,5°, 45% 90°

Deneylerin neticeleri şöyledir :

1« _ Büyük partiküller (d>.0,01 İnç) ihtiva eden karışımların birim boru sürtünme kaybı bütün karışım hızlarında temiz suyun birim boru sürtünme kaybı kadardır. Newitt, fotoğraflar yardımı ile katı partiküllerin düşük karışım hızlarında borunun bütün kesitine disperse olduğunu ,daha yüksek karışım hızlarında ise partiküllerin borunun merkezine doğru yöneldiklerini ve boru cidarlarını temiz suya terk ettiklerini göstermiştir. [8]

2» _ Newitt, küçük partiküller (d<0,01 İnç) ihtiva eden karışımlar için aşağıdaki durand değişkenini vermiştir. [8]

$$\phi = 0,0037 \left(\frac{g \cdot D}{V^2} \right)^{1/2} \left(\frac{D}{d} \right) \gamma_1^2 \dots\dots(8)$$

Karışımın akmasından dolayı birim uzunlukta meydana gelen boru yük kaybı J, sadece suyun akmasından dolayı birim uzunlukta meydana gelen yük kaybı J_{su} ve katı maddenin hacimsel konsantrasyonu K cinsinden (9) formülü ile belirlidir.

$$J = J_{su} (1 + 0 K) \dots\dots(9)$$

Açıklanmamış terimler şunlardır :

- φ.....Durand değişkeni
- d.....Katı tanenin ortalama çapı.

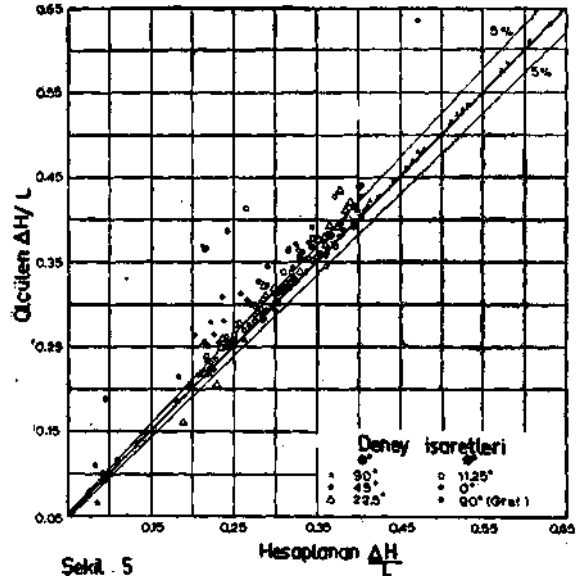
Graf ve Acaroğlu (1967) homogen * karışımların eğimli borularda akması halinde meydana gelen yük kaybının aşağıda verilen genel formül ile hesaplanacağını deneysel olarak göstermişlerdir. [11]

Borunun yatayla yaptığı açı

Graf ve Acaroğlu [12] deneylerinde şu büyüklükleri kullanmışlardır :

Şekil - 5 de hesaplanmış $\left(\frac{\Delta H}{L} \right)$ ve ölçülmüş

(AH/L) değerlerinin değişimi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi iki hale alt değerler, eğimi 45." olan doğru üzerinde bulunmaktadır. Bir başka deyiş ile (10) formülünün değerlerinin, deney değerlerine çok yakın olduğu belirtilebilir.



Şekil 5

Düşey boru (a = 90°) halinde (10 a) ifadesi : şeklinde yazılabilir.

3.2.2. Lokal Yük Kayıplarının Hesabı :

Düşey hidrolik nakil şebekesi üzerinde bulunan dirsek, kesit değişimi ve teçhizatdan dolayı meydana gelen lokal kayıpları hesaplamak zordur. Nakil edilen karışım homogen * ise su için verilen lokal yük kayıpları formüllerinden istifade etmek suretiyle karışımın lokal yük kayıpları hesaplanabilir. [14] [13]

Eğer karışım heterojen veya kayan taban şeklinde hareket ediyorsa, lokal yük kayıplarını hesaplamak imkânsızdır. Bu durumda lokal kayıpları karıştırmak için geometrik boru uzunluğunu, gerçek boru uzunluğundan biraz fazla almak pratik ve emniyetli bir çözüm yoludur. [13]

Homogen karışımlar için lokal yük kayıplarını, ekivalan düz boru uzunluğu cinsinden ifade etmek daha pratik olmaktadır. [13] [14]

Homogen karışımlar için lokal yük kayıpları genel olarak :

$$\Delta H_{\text{Lokal}} = 3 \frac{V_2}{2g}$$

formülü ile hesaplanır.

AH Lokal Lokal yük kaybı,

Homogen karışımda, ekivalan düz borunun sürtünme kaybı

$$H = \lambda \frac{V^2}{2g D} l' \quad (12)$$

dir.

$H = \Delta H_{\text{Lokal}}$ şartından, ekivalan düz boru uzunluğu

$$l' = \frac{3}{\lambda} D \quad (13)$$

formülü ile bulunur. [13] [14] (l'... ekivalan borunun geometrik uzunluğunu ifade eder.)

Dirseklerde 3 çeşitli parametrelere bağlı olup, 90° dirsek açısında $3 = 0,5$ değerindedir. $A=0,03$ ve $D = 0,150$ (m) alındığında ekivalan boru uzunluğu (13) formülünden :

* Karışımın hızı, katı maddenin çökme hızından çok büyük ise bu tür karışımlara homogen karışımlar denilir. Bu karışım tipinden; katı tanecikleri boru kesiti içinde düzgün olarak dağılırlar. Tam olarak düzgün dağılıma teoriktir ve karışım hızlarının sonsuza ulaşması ile elde edilebilir. [12] [13]

$$l' = \frac{0,5}{0,150} \times 0,150 = 2,5 \text{ (m) bulunur.}$$

Pratik olarak bir dirsek için ekivalan boru uzunluğu $l' = 5$ (m) alınır. [14] (Proje çalışmalarında, lokal büyük kayıpları için alınacak değerlerin pratikteki tecrübi değerler kadar olmasına önemle dikkat edil melidir.)

3.3. Kritik Karışım Hızı :

Kritik karışım hızı, karışımın hareketli akımdan, hareket etmeyen akıma geçiş hızı olarak tarif edilir. Düşey hidrolik nakilde, katı parçaların boru içindeki yükselme hızı, karışım hızı ile parçanın karışım içinde çökme hızlarının farkına eşittir. Katı parçaların boru içinde yükselme hızı :

$$V_k = V - V_\phi \quad (14)$$

formülü ile bellidir.

V_k Katı parçanın boru içinde yükselme hızı.

V Karışım hızı.

V_ϕ Katı parçanın karışım içinde çökme hızı.

$V = V_\phi$ olduğu zaman $V_k = 0$ 'dir. Bu durumda katı parçaları boru içinde hareket edemeyeceklerinden boru kesiti tıkanır.

Katı parçalarını boru içinde hareket ettirmek için karışıma verilecek hız $V \gg V_\phi$ şartını sağlamalıdır.

Pratikte ortalama kritik karışım hızı

$$V_k = (3 - 4) V_\phi$$

formülü ile hesaplanır.

V_ϕ değeri teorik veya deneysel olarak tayin edilebilir. Uygulama da, genellikle V_ϕ değeri deneysel çalışma ile tespit edilmektedir. Muhtelif tane büyüklüğündeki kömür parçalarının su ve % 30 kömür konsantrasyonlu karışım içinde ölçülen çökme hızları Tablo 1'de [15] görülmektedir.

4. Düşey Hidrolik Nakilde Pompa Sistemleri :

Düşey hidrolik nakilde başlıca iki pompalama sistemi vardır. [2, 16, 17 18]

1° — Direkt pompalama

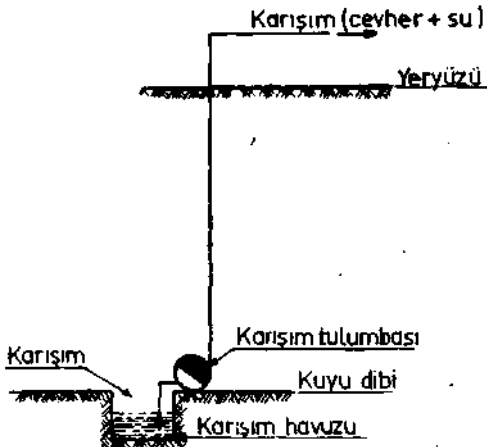
2° — Besleyici gereçlerle yapılan pompalama. Bu sistem de iki şekilde gerçekleştirilir.

2° — 1. Açık sirkülasyon

2° — 2. Kapalı sirkülasyon

(cm) Tane büyüklüğü	Su içinde serbest çökme hızı (cm/sn)	%30 Kömür konsantrasyonu karışım içinde çökme hızı t m/sn)
0.159	4.5	3
067	15-0	10.50
2.54	30.0	21-0
2.54	51.0	360

Tablo : 1



Şekil-6 Direkt pompalama sistemi

4.1. Direkt Pompalama

Nekledilecek kömür, su ile birlikte pompaya verilerek pompalanır. Direkt pompalama sistemi Şekil-6'da görülmektedir. Direkt pompalama sisteminin

de genellikle santrifüj tipi pompalar kullanılmaktadır. İri ebadlı cevherin yüksek irtifaya pompalanması için çok kademeli pompa guruplarına ihtiyaç vardır.

Glisonit işletmesinde * kullanılan serfi bağlı santrifüj pompa gurubu fotoğraf Vde görülmektedir. [19]

Rusya'da uygulanan düşey hidrolik nakilde kullanılan santrifüj tipi karışım pompalarının teknik karakteristikleri Tablo 2'de verilmiştir. [2]

Direkt pompalamanın en büyük dezavantajı pompaların menometrik yüksekliklerinin limitli olmasıdır. Ayrıca, pompalamada kullanılan su miktarı da fazladır.

4.2. Besleyici Gereç İle Yapılan Pompalama Sistemi :

Bu sistemde karışım özel besleyici gereçler yardımı ile pompanın basma borusuna verilerek pompalanır. Bahis konusu sistemde cevherin tane büyüklüğü, pompa karakteristiği ile ilgili değildir. Pratikte, sistem iki şekilde gerçekleştirilir. [2] [16] [17]

Karakteristik değerler	Tulumba Tipleri			
	5ShNV	6_NZ	6-NUV	10UVT 2S
Karışım kapasitesi(tT/saat)	540	400	400	900
Manometrik yükseklik (m)	84	27	120	250
Maksimum kömür tane boyutu (mm)	80	80	60	100
Emme boru çapı (mm)	200	200	150	200
Basma boru çapı (mm)	150	150	125	150
Güç (KW)	200	75	300	930
Devir / dakika	1450	980,	1450	1450

Tablo-2

Şekil 7 de [16] mevcut sistemler görülmektedir.

1° — Kapalı sirkülasyon (kapalı devre)

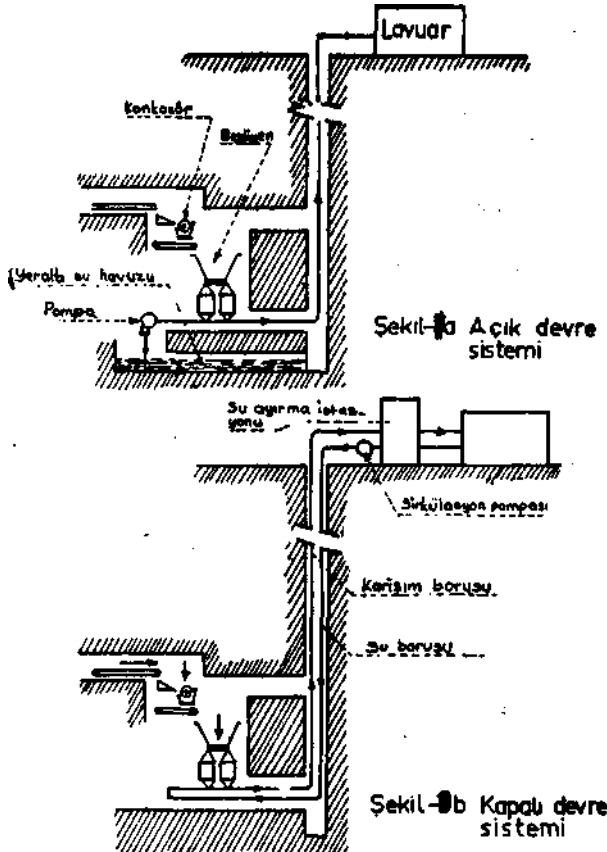
2° — Açık sirkülasyon (açık devre)

1° — Kapalı devrede, karışım için gerekli su

yeryüzünde yerleştirilen pompa vasıtası ile elde edilir. Sistemin en büyük avantajı besleyiciden boru şebekesine verilen karışım (cevher-f su) için yüksek basınç elde edilmesidir. Şekil 7 a'da tipik bir kapalı devre görülmektedir.

2° — Açık devre; besleyici gereci için gerekli su, yeraltında kurulan pompalar ile sağlanır. Kullanılan su yeraltı su havuzlarında toplanan sulardır. Bu devrede su ihtiyacının temini kolaydır. Pratikte, genellikle açık devreler tercih edilmektedir. Şekil 7b de açık devre sistemi görülmektedir. (Şekillerdeki ok işareti karışımın (cevher-fsu) sirkülasyon yönünü belirtmektedir.)

Pratikte besleyici gereçlerle yapılan pompalama sisteminin kapalı veya açık devre olması, karışım için gerekli su debisinin teminine bağlıdır. Yeraltında yeter debide su bulunuyorsa, (hidrolik kazı yapılıyor veya ocakta bol miktarda su varsa) bu suların faydalanmak bakımından pompanın yeraltında kurulması daha uygun olur. Aksi halde su sirkülasyonunu sağlayan pompanın yeryüzünde kurulması gerekir.



Rusya'da kullanılan tipik bir besleyicinin teknik karakteristikleri Tablo 3 de özetlenmiştir. [2]

Karakteristik değerler	Besleyici tipi' AZV-1
Besleyici kapasitesi Su/Komur=" /5 (m³/saat)	87
Su ihtiyacı Su/K6rnur= 1/5 (m³/saat)	430
Karışım hızı Su/Komur= 1/5'm/sn)	32
Besleyici odasında maksimum basınç (atm)	50
Kansrm borusu (mm)	255
Maksimum nakil edilen komur büyüklüğü (mm)	100

TabLo-3

Rusya'da, besleyici gereçlerle yapılan pompalama ile düşey hidrolik nakil derinliği 500 metreye ulaşmıştır. [2] Gelecekteki düşey hidrolik nakil için büyük ümit gösteren ve gün geçtikçe gelişen besleyici sistemlerle 800-1100 metre derinlikten 4000 (Ton/gün) kömürün nakli projeleri üzerinde bilimsel çalışmalar Rusya'daki hidrolik madencilik endüstrisinde yapılmaktadır. [2]

4.3. Pompa Tesislerinin Güç Hasatı ;

Ewelki bölümlerde belirtildiği gibi cevher parçalarının hidrolik nakli için gerekli olan enerji miktarının hesabı, düşey hidrolik nakil projesinin temelini teşkil eder.

Bir karışım pompanın miline verilecek gerekli güç, genel olarak,

Q.H.7

$$N = \dots \dots \dots (16)$$

formülü ile ifade edilir.

Bu formülde :

- NPompa gücü (PS),
- QKarışım (Cevher+su) debisi (m³/sn),
- HManometrik yükseklik (m),
- γNakil edilen karışımın özgül ağırlığı (kg/m³), ve
- T_gPompanın genel randımanı'dır.

T_g pompanın genel randımanı sabit olmayıp Q ye, H'ya ve pompanın devir adedine bağlıdır. Bu değer belirli nakil şartları için pompanın yapısı ve cinsine göre maksimuma ulaşır. Pratikte, santrifüj

tipi karışım pompalarının genel randımanı % 60 alınmaktadır. Bu tip pompalarda maksimum genel randımanı % 70 dir.

Pompanın manometrik yüksekliği «H» aşağıdaki ifade ile

$$H = h + \Delta H + \Delta H_{Lokal}$$

bellidir.

h iki akış noktası arasındaki geometrik kot farkı (m) (alttaki ve üstteki karışım seviyeleri arasındaki geometrik fark)

ΔH Karışımın yük kaybı (m),

ΔH_{Lokal} Karışımın lokal yük kaybı (m).

ΔH_{Lokal} genellikle düz boru cinsinden ifade edildiğinden boru şebekesindeki toplam yük kaybı (borulardaki sürtünme kaybı, teçhizat ve kesit değişiminden dolayı kayıplar, ölçü aletlerinden ileri gelen kayıpların toplamı) aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$\Sigma \Delta H = \Delta H + \Delta H_{Lokal}$$

$\Sigma \Delta H$ Toplam yük hesabı (m)

Bu takdirde (16) formülü

$$N = \frac{Q(h + \Sigma \Delta H) \gamma}{75 \eta_g}$$

şeklinde yazılabilir. « γ » karışımın özgül ağırlığı olup, aşağıdaki formül ile hesaplanır. [11]

$$\gamma = (1-K) \gamma_o + K \gamma_k \quad \bullet \quad (19)$$

Formülden görüldüğü gibi, karışımın yoğunluğu katı maddenin hacimsel konsantrasyonuna bağlı olarak lineer şekilde artar. Pratikte, maksimum katı madde konsantrasyonu % 30 ilâ % 35 alınmaktadır.

Motorun gücü, tulumbanın gücünden % 10 ilâ % 30 yüksek alınır.

$$N_m = (1,1 - 1,3) N \quad \dots \quad (20)$$

5. Düşey Hidrolik Nakil Projesi :

5.1. Genel :

Düşey hidrolik nakil projesinin yapılması için bazı verilerin verilmesi lâzımdır. Bu verilerin bazıları, deneysel olarak tayin edilir veya mühendise direkt olarak verilir. Proje için gerekli verileri üç ana grupta toplamak mümkündür: [20]

a) Fiziksel veriler

b) Geometrik veriler

c) Teknik veriler.

Ana verilerde, şu verilerden meydana gelmiştir [20] :

a — Fiziksel veriler

- Nakil edilecek cevherin özgül ağırlığı
- Cevher parçalarının formu
- Ortalama cevher çapı
- Cevher konsantrasyonu

b -- Geometrik veriler

- Boru şebekesinin toplam boru uzunluğu
- Boru iç çapları
- Nakil derinliği

c — Teknik veriler

- Nakil kapasitesi (Karışım kapasitesi)
- Nakliyat süresi
- Su İhtiyacı (su/cevher oranı)
- Cevher parçalarının serbest ve karışım içinde çökme hızları
- Kullanılan boru kaplama cinsi
- Mutlak boru pürüzlülüğü
- Şebekede kullanılan teçhizatın adeti ve özellikleri

Yukardaki verilere tekabül eden projede, istenen önemli hususlar şunlardır : [20]

- Cevher parçalarının boru şebekesinde çökmesini önleyecek karışım hızın tespiti :
- Boru şebekesinde meydana gelebilecek yük kayıplarının hesabı ve gerekli enerjinin tespiti.

5.2. Nümerik Düşey Hidrolik Nakil Projesi ([20])

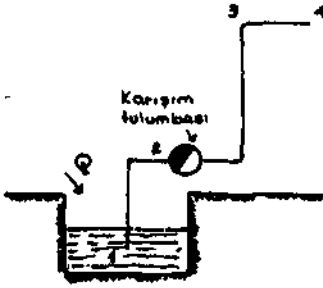
Nümerik Proje

Veriler:

a. Fiziksel veriler

Kömürün özgül ağırlığı $\gamma_k = 15 \text{ t/m}^3$
Ortalama tane çapı $d = 254 \text{ cm}$
Katı madde konsantrasyonu..... $K = \%25$

b. Geometrik veriler



Devre	Boru çapı D (mm)	Boru uzunluğu L (m)
1-2	200	6
2-3	150	150
3-4	150	30

Düsey nakil derinliği $h = 150 \text{ m}$ 'dir

c. Teknik veriler

Nakliyat kapasitesi $Q_k = 100 \text{ m}^3/\text{saat}$ (150 ton/saat)
Kömürün serbest çökme hızı $V_G = 0.51 \text{ m/sn}$
Kullanılan boru kaplama çinsi çelik
Mutlak boru pürüzlüğü $k = 0.4 \text{ mm}$
Sebekede ekivalan boru uzunluğu $l' = 30 \text{ m}$

kabul ediliyor

(R_v değerini 15 m'si emme borusuna, diğer 15 m'si de basma borusuna ilave edilecektir)

Proje Adımları

1. Karışımın özgül ağırlığı:

$$\gamma = K \gamma_k + (1-K)\gamma_0$$
$$= 0,25 \times 15 + 0,75 \times 1 = 4,125 \text{ gr/cm}^3$$

2. Su ihtiyacı :

$$\gamma = \frac{Q_0 \cdot \gamma_0 + Q_k \cdot \gamma_k}{Q_0 + Q_k} \quad \text{formülünden su ihtiyacı } (Q_0) \text{ hesaplanır}$$

Q_0 Su ihtiyacı (m^3/saat)

Q_k Kömür debisi (m^3/saat)

$$1.125 = \frac{Q_0 \cdot 1 + 100 \cdot 1,5}{Q_0 + 100} \rightarrow Q_0 = 300 \text{ m}^3/\text{saat} \quad \text{bulunur}$$

$$\text{Su/Kömür oranı } \frac{Q_0}{Q_k} = \frac{300}{100} = 3 \text{ olarak hesaplanır.}$$

3. Ortalama karışım hızları :

$$\text{Toplam debi, } Q = Q_0 + Q_k = 300 + 100 = 400 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$Q = \frac{400}{3600} = 0.11 \text{ (m}^3/\text{sn)}$$

Süreklilik ifadesinden karışım hızları :

$$V_{1-2} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D_{1-2}^2} = \frac{0.11}{\frac{\pi}{4} \cdot 0.200^2} = 3.50 \text{ m/sn}$$

$$V_{2-3} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D_{2-3}^2} = \frac{0.11}{\frac{\pi}{4} \cdot 0.150^2} = 6.24 \text{ m/sn}$$

$$V_{3-4} = V_{2-3} = 6.24 \text{ m/sn}$$

4. Kritik karışım hızları

$$\text{Düsey boruda kritik hız ; } V_k = (2-3)V_2$$

$$= 3 \cdot V_2 = 3 \cdot 0.91 = 1.53 \text{ m/sn} \quad \text{olmalıdır.}$$

$V_{1-2}, V_{2-3} > V_k = 1.53 \text{ (m/sn)}$ olduğundan çökeltme rejimi mevzu bahis değildir.

Yatay boruda kritik hız ;

$$V_k = F_2 \sqrt{2g D_{2-3} \frac{\gamma_k - \gamma_0}{\gamma_0}} \quad \text{formülü ile hesaplanır. Burada } F_2 \text{ karışım}$$

sim konsantrasyonuna ve katı tanenin büyüklüğüne bağlı bir katsayıdır. Verilen şart

lar için $F_2 = 1.34$ alınmıştır. Değerler formüle konularsa kritik hız,

$$V_k = 1.34 \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 0.150 \cdot \frac{15-1}{1}} \approx 1.62 \text{ m/sn} \quad \text{olarak bulunur}$$

$V_{2-3} = 6.24 \text{ m/sn} > V_k = 1.62 \text{ m/sn}$ olduğundan yatay boruda çökeltme rejimi meydana gelmez.

5-3 Basma borusunda meydana gelen toplam yük kaybı,

$$\sum \Delta H_{2-3} = \lambda_{2-3} \frac{V_{2-3}^2}{2gD_{2-3}} (L_{2-3} + l'_{2-3}) + \left(\frac{\gamma}{\gamma_0} - 1\right) (L_{2-3} + l'_{2-3})$$

Formülü ile hesaplanır. Değerler formüle konularsa

$$\sum \Delta H_{2-3} = 0,025 \frac{6,24^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,150} (150 + 15) + \left(\frac{1,125}{1} - 1\right) (150 + 15) \cong 75,6 \text{ m}$$

bulunur

5.2.2. Yatay boruda meydana gelen yük kaybı:

3-4 yatay borusunda meydana gelen yük kaybı,

Bu kısımda hidrolik natil yatay yapılmaktadır. Yatay hidrolik nakilde boru yük kaybını hesaplayabilmek için karışımın boru içindeki hareketi bilinmelidir. Newitt formüllerine göre kayan taban hareketinden heterojen karışım geçiş hızı,

$$V = 17 V_B = 17 \cdot 0,51 = 8,7 \text{ m/sn bulunur.}$$

$$V_k = 1,62 < V_{3-4} = 6,24 < V = 8,7 \text{ olduğundan,}$$

hareket kayan taban şeklindedir. Bir başka deyişle, kömür parçaları boru tabanında sürüklenmek suretiyle hareket ederler. Bu harekete tenabül eden Durand değeri kenini kullanarak yatay borudaki yük kaybı;

$$\Delta H_{3-4} = \lambda_{3-4} \frac{V_{3-4}^2}{2gD_{3-4}} [1 + \phi K] L_{3-4}$$

formülü ile bellidir

Durand değeri (kayan taban için),

$$\phi = 66 \left(\frac{\gamma_k}{\gamma_0} - 1\right) \frac{g D_{3-4}}{V_{3-4}^2}$$

formülünden hesaplanır Yatay borudaki yük

kayıbı

$$\Delta H_{3-4} = 0,025 \cdot \frac{6,24^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,150} \left[1 + 66 \left(\frac{1,6}{1} - 1\right) \frac{9,81 \cdot 0,15}{6,24^2} \cdot 0,25\right] 30 = 13,1 \text{ m}$$

bulunur

5.2.3 Toplam yük kaybı

$$\sum \Delta H = \sum \Delta H_{2-3} + \Delta H_{3-4} = 42 + 75,6 + 13,1 = 92,9 \text{ m}$$

6. Pompa miline verilecek güç

$$N = \frac{Q^{2/3} H^m \gamma \text{ kg/m}^3}{75 \eta} = \frac{Q \cdot (h + \sum \Delta H) \cdot \gamma}{75 \eta} \quad (P \text{ s})$$

$$= \frac{0,11 \cdot (150 + 92,9) \cdot 1125}{75 \cdot 0,6} \cong 668 \quad (P \text{ s}).$$

5.1 λ Boru sirtunme katsayısının bulunması :

Reynolds sayısının hesabı, Reynolds sayısı,

$$R_e = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad \text{formulu ile bellidir}$$

Bu formülde :

 R_e Karışımın Reynolds sayısı V Karışımın ortalama hızı D Borunun iç çapı ν Karışımın kinematik viskozitesi

$$\nu = 0.01 \text{ cm}^2/\text{sn} \quad (\text{Suyun } 20^\circ\text{C} \text{ deki viskozitesi})$$

$$R_{e-2} = \frac{V_{1-2} \cdot D_{1-2}}{\nu} = \frac{350 \cdot 200}{0.01} = 7.000.000 > 2320$$

rejim turbulanslı

$$R_{e-3} = \frac{V_{2-3} \cdot D_{2-3}}{\nu} = \frac{624 \cdot 150}{0.01} = 9.360.000 > 2320$$

rejim turbulanslı

$$R_{e-3-4} = R_{e-2-3} = 9.360.000$$

$$\frac{k}{D_{1-2}} = \frac{0.4}{200} = 0.002 \quad \text{ve} \quad R_{e-2} = 7.000.000 \rightarrow \text{Moody diyagramından boru sirtun-}$$

me katsayısı $\lambda_{1-2} = 0.024$;

$$\frac{k}{D_{2-3}} = \frac{0.4}{150} = 0.00267 \quad \text{ve} \quad R_{e-3} = 9.360.000 \rightarrow \text{Moody diyagramından boru sirtun-}$$

tünme katsayısı $\lambda_{3-4} = 0.025$, $\lambda_{2-4} = \lambda_{2-3} = 0.025$ değeri bulunur

5.2 Toplam yük kaybının hesaplanması

5.2.1 Düşey boruda meydana gelen yük kaybı

1.2 Emme borusuna meydana gelen toplam yük kaybı :

$$\sum \Delta H_{1-2} = \lambda_{1-2} \frac{V_{1-2}^2}{2g D_{1-2}} (L_{1-2} + \ell_{1-2}^*) + \left(\frac{\alpha}{\beta_0} - 1 \right) (L_{1-2} + \ell_{1-2}^*) \quad \text{formülünden hesap.}$$

lanır Değerler formülde yerine konulursa emme borusundaki toplam yük kaybı

$$\sum \Delta H_{1-2} = 0.024 \frac{35^2}{2 \cdot 9.81 \cdot 0.200} (6+15) + \left(\frac{1.125}{1} - 1 \right) (6+15) \approx 4.2 \text{ m}$$

bulunur

E. Arıoğlu

7. Motor gücü

$$N_m = 1,1 \times N = 1,1 \times 668 = 735 \quad (\text{p.s})$$

$$N_m = 735 \cdot 0,736 = 540 \quad (\text{kw})$$

8. Tulumbanın hesaplanan teknik karakteristiği

Manometrik yüksekliği $H \approx 243 \text{ m}$.

Karışım debisi $Q = 400 \text{ m}^3/\text{saat}$

Motor gücü $N_m = 540 \text{ kw}$.

6. Sistemin Avantaj ve Dezavantajları :

6.1. Düşey Hidrolik Naklin avantajları :

Prosesin başlıca avantajları Şunlardır :

1 — Hidrolik nakilde cevher nakliyatı emniyetli ve sistematik bir şekilde sağlanmıştır.

2 — Klâsik cevher nakliyatında herhangi bir nakil gerecinin yalnız bir yönde boş, diğer yönde dolu çalışmasını önler. Bir başka deyiş ile hidrolik nakilde iki nokta arasında devamlı bir nakliyat sirkülasyonu sağlanmıştır.

3 — Düşey hidrolik nakilde işçilik prevüsü, diğer klâsik nakil çeşitleri ile mukayese edilmeyecek derecede daha azdır. Bu husus, sağlanan önemli avantajlardan birini teşkil eder.

4 — Düşey hidrolik nakilde, nakliyat galerilerinin ve kuyuların kesit alanları daha azdır. Bir düşey hidrolik nakilde dar kesitli bir kuyu veya bir sondaj deliği kâfi gelebilir.

Bu avantaj, İhzarat masraflarını azaltması bakımından çok büyük bir önem kazanır.

6 — Bu sistemde, ayak, imalât yolu, ana yol, kuyu gibi bir çok ara. duraklar ve yükleme - boşaltma noktaları daha azdır. (Bu avantaj, hidrolik kazı ile uygulanan düşey hidrolik nakilde bahis konusudur.)

6 — Nakil esnasında cevher kaybı klâsik nakil sistemlerine nazaran çok az olur. Düşey hidrolik nakilde cevher kaybı minimumdur.

7 — Düşey hidrolik nakil, büyük yer işgal eden Komplike İhraç tesisleri yerine daha az yer işgal eden basit tesislere imkân sağlar.

8 — Düşey hidrolik naklin maliyeti klâsik nakliyat sistemlerine nazaran daha ucuzdur.

9 — Toz konsantrasyonu bakımından da düşey hidrolik nakil en emin bir nakliyat sistemi olduğundan ağır işçilik minimuma inmiştir.

6.2. Dezavantajlar :

Sistemin yukarıda sıralanan avantajları yanında şu dezavantajları da mevcuttur :

1 — Kömürün boru şebekesine verilmeden evvel maksimum 100 mm'lik parçalar halinde kırılması gerekmektedir. Bu hususun sağlanması ilâve bit operasyona ihtiyaç gösterir. Rusya'daki çalışmalar nakil için maksimum kömür boyutunun 150 mm'ye çıkarma yönündedir. [2] [21]

2 — Kömür veya cevher santrifüj tulumbadan geçerken merkezkaç kuvvetin tesiri altında parçalanarak ince aksamı artar. Rusya'daki tatbikatlarda ince tane nisbeti % 50'ye kadar yükselmiştir. Donbas kömür havzasında uygulanan düşey hidrolik nakil sistemi ile ihraç edilen kömürün karakteristik elek analizi aşağıda verilmiştir. [22] (Elek analizinden görüldüğü gibi kömürün ince kısmı fazladır.)

Elek aralığı	Nispet
0-3 mm.	67 %
3-6 »	11 %
6-75 »	22 %

İnce kömür kurutulması pahalı operasyonlara yol açar. (Su ile nakledilen kömürün % 30-% 40 nisbetinde su ihtiva etmesi ile direkt olarak kazanda yakılması halinde yanma randımanı çok az değişmekte veya hiç değişmemektedir. [23])

3 — Rusya'da, düşey hidrolik nakil, özel aya-reyler vasıtasıyla maksimum 500 m. derinliğe kadar yapılmaktadır. [21] Rusya'da kullanılan santrifüj tipi kömür tulumlarının manometrik yüksekliği maksimum 270 metredir. [2] [21] Yani, bugünkü teknolojik imkânlarla; düşey hidrolik naklin uygulama derinliği limitlidir. Bu durum, düşey hidrolik naklin en önemli dezavantajını teşkil eder. Donbas havzasında günde 4000 ton kömürün 800 metre derinlikten nakli üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. [21])

4 — Düşey hidrolik nakil sistemi ile nakil edilecek cevherin belirli özellikleri yerine getirmesi lâzımdır. Cevher, istenen özellikleri (kömür içinde 'azla kilin bulunması, tane boyutunun irileşmesi v.s.) sağlayacak nitelikte değil ise, düşey hidrolik nakil projesinin tatbikatı, çok güç veya imkânsızdır.

5 — Hidrolik nakilde karışım hızının değeri çok önemlidir. Bu hızın değeri, kritik karışım hızından büyük olması lâzımdır. [13] [20]

Düşey nakilde karışım hızının tanenin çökme hızından büyük olması istenir. Aksi halde boru şebekesinde arzu edilmeyen tıkanma rejimi meydana gelir. Tıkanmanın giderilmesi ve şebekenin tekrar çalışır hale getirilmesi büyük zaman kaybına sebebiyet verir. Bu durum düşey hidrolik nakilden beklenen avantajları zedeleyebilir.

6 — Borular cevherin nakli ile aşınmağa maruz kalırlar. Bu nedenle muayyen katı madde debilerinde değiştirmek gerekir. Boruların, sık sık değiştirilmesi, masrafı arttırma bakımından önemli bir dezavantajdır. Aynı sebepten dolayı tulumlarının da ömürleri kısadır.

Rusya'daki uygulamalardan alınan değerlere göre ortalama ömürler şöyledir : [21]

Borunun ömrü 200 çalışma saati
Tulumba gövdesi. 1000 » »

7 — Taşıyıcı ortam olarak kullanılan suyun büyük debilerde kullanılması gerekmektedir. Suyun temini ve hidrolik nakil devresine verilmesi önemli bir problemdir. Basınç altında kapalı borularda yapılan nakil için su tüketimi ünite ton kömür için 2-5 m³ civarındadır. (Hidrolik kazının yapıldığı işletmelerde kazılan kömürün, imalât yerinden tulumba dairesine kadar transferini sağlayan açık kanallarda, su tüketimi ünite ton kömür için 6 - 7 m³ dur. [21] [22] [24])

8 — Düşey hidrolik nakil şebekesi, genel olarak, büyük nakil debileri için ekonomiktir.

9 — Cevherlerin düşey hidrolik naklinde, genel olarak, santifüj tipi pompalar kullanılmakta ve bu tip pompaların da genel randımanı % 70'den büyük değildir. Nakil edilen katı maddenin irileşmesi ve hacimsel konsantrasyonun artması ile randıman da azalma daha da barizdir. Projelerde genel olarak, pompa randımanı % 60 alınmaktadır. Pompa randımanının düşük olması, sistemin enerji maliyetini arttırmaktadır.

Yukarda açıklanan dezavantajların fazlalığına rağmen halihazırda çalışmakta olan düşey hidrolik nakil sistemleri mevcuttur. [2, 9, 19, 21, 22, 24, 25, 26] Düşey hidrolik nakil, genel olarak, hidrolik kazının yapıldığı ocaklarda uygulanmaktadır. Düşey hidrolik nakil hidrolik kazının bir ünitesini teşkil eder. [2, 21, 22, 25, 26] Bir başka deyişle hidrolik kazının uygulandığı ocakta cevherin nakliyatı zorunlu olarak hidrolik sistem ile yapılmaktadır. Bu bakımdan hidrolik kazının avantajlarından kısaca bahsetmek yerinde olacaktır. Aşağıda, hidrolik kazının avantajları tablolar halinde verilmiştir. Tablo -4 [2])

Tablo-4'de Kuznes Ocağının (1961) hidrolik kazı uygulama neticelerinin klâsik metodları uygulayan ocakların ortalama neticeleri ile mukayesesi görülmektedir.

Donbas havzasında 1,15 m. kalınlığına haiz ve 12°-15° eğimli antrasit damarında uygulanan hidrolik kazı ile ilgili neticeler Tablo - 5'de [2] verilmiştir.

Karakteristikler	Hidrolik kazı	Klasik metodların tatbik eden ocakların ortalaması
Aylık randıman (Ton/ İşçi)	89,1	49,1
Ana maliyet (Ruble/ Ton)	5.98	7.31
Ahşap, tüketimi (m ³ /1000Tbn)	15.2	50_52

Tablo_4-

	Daha ewel uygulanan klasik işletme metodu	Hidrolik kazı
Aylık kömür üretimi (Ton)	56.13	15 630
Aylık randıman (Ton/İşçi)	258	67.1
Ana üretim maliyeti (Ruble/Ton]	9.9	7-8
Direk tüketimi (m ³ /1000Ton)	28.0	12.8 „
Ortalama üretim . yeri randımanı (Ton / İşçi)	50.0	15.4

Tablo -S

Tablolardan görüldüğü gibi hidrolik kazı, klâsik işletme metodlarına nazaran önemli avantajlar sağlamaktadır. Sağlanan avantajların neticesinde hidrolik kazı ve nakil sistemi Rusya'da büyük bir uygulama sahası bulmuştur. Kesin bir rakam olmakla beraber Rusya'da yılda 50 Milyon ton kömür düşey hidrolik nakil sistemi ile yeryüzüne çıkarılmaktadır. Rusya'da uygulanan düşey hidrolik nakile ait tipik bir misâl Tablo-6'da [21] verilmiştir.

Sistem, hidrolik kazının son ünitesini teşkil etmesi bakımından da önem kazanmaktadır.

Rusya, yeraltı kömür ocaklarının büyük çoğunluğunda hidrolik kazıyı tatbik etme çalışmaları içindedir ve uygulamada görülen müşküller, hidromekanik enstitüsünde çözümlenmeye çalışılmaktadır.

Adı geçen Enstitüde teknik personel olarak 500 kişi çalışmaktadır. Rusya'da hidrolik madencilik

Tulumba tipi	10UVT.2S	Santrifüj
Tulumbanın manometrik yüksekliği.....	250	(m)
Karışım kapasitesi	900	(m ³ /saat)
Emme boru çapı.....	250	(mm)
Basma boru çapı	150	(mm)
Su ihtiyacı.....	5-6	(m/ton)
Maksimum komur çapı.....	100	(mm)
Güç.....	930	(KW)
Motor milinin deviri.....	H50	(devir/dak)

Tablo -6

Hidrolik kazı ve naklin Rusya'daki ağırlık merkezi bugün için Kuznez Havzasında bulunmaktadır. Hidrolik kazı ve düşey nakil, Rusya'da artık tecrübe safhasından çıkarak uygulama safhasına geçmiştir [2, 21, 22, 24]

Sistemin, Rusya'daki geniş uygulamasından mâada Polonya, Kuzey Çin, Yeni Zelanda, Fransa, Almanya, Amerika ve Güney Afrika'da da uygulaması vardır.

7 — Netice :

Düşey hidrolik nakil, bugün muhtelif memleketlerin madenlerinde uygulanmaktadır. Uygulama sonuçları pozitifdir.

metodları ile, yılda 50 Milyon ton kömür üretimi yapılmaktadır. Bu değerlerden, Rusya madenciliğinin hidrolik kazı ve nakle verdiği önemi anlamak mümkündür.

REFERANSLAR

- [1] ACAROĞLU, E. R.; Basıncılı Akımlarda Katı Madde Taşınımı, İnş. Müh. Odası, Türkiye İnşaat Mühendisliği IV, Teknik Kongresi, Konu No: 1, Rap. No: 31, (1968).
- [2] VOROBEV, B. M. DESHMUKH, R. T.; Advanced Coal Mining, Vol: II, Asia Publishing House London, (1966).

- [3] MICHALZİK, A.; Kritischer Vergleich Von Berechnungsmethoden für Spüiversatzbetriebe. Bergbautechnik, H. 3, (1962).
- [4] FRITZCHE, C. H.; Berbbaukunde, Zweiter Band, Springer Verlag, (1962).
- [5] DURAND, R.; Le Transport Hydraulique En Conduite Du Charbon Et Des Matériaux Solides, Neyrpic, Grenoble, (1952).
- [6] DURAND, R.; Ecoulements De Mixture En Conduites Berticales - Influence Sur Les Caractéristiques, De Refoulement En Conduite Horizontale, La Houille Blanche, No: Special A/1953
- [7] GILBERT, R.; Transport Hyraulique et Refoulement des Mixtures en Conduits Anneles des Ponts et Chaussées No: 3, (1960).
- [8] Canadian Min. and Met. Bul. (1960).
- [9] CHAPUS, E. E.; Hydraulic Hoisting of, Cool CONDOLIOS, E.; and Ores, American Mining COURATIN, P.;Congress Journal, September (1962).
- [10] CHAPUS, E. E.; Desmgng solids - Handling Pipelines, Chemical Engineering, July 8, (1963)
- [11] GRAF, W. H., ACAROĞLU, E. R.; Homogeneous Suspensions in Circular Conduits, Journal of the pipeline Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol 93, No PL, 2 Proc. Paper 5352, (1967).
- [12] ACAROĞLU, E. R.; Basınçlı Akımlarda Taban Şekillerinin ve ilişkin Yük Kayıplarının incelenmesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Proje No. MAG. - 177, (1970).
- [13] ARIOĞLU, E.; Hidrolik Ramblenin Teorisi ve Tatbikatı, Konfrenas, Ereğli Kömürleri İşletmesi, Mart, (1972).
- [14] FULDA, D.; Beitrag Zur Berechnung Von Spülversatzanlagen Im Kalibergbau - Fireiberger Forschungshefte, A-374 Bergbau - Tiefbau, (Doktora Tezi, (1966).
- [15] WORSTER, R., DENNY, D. F.; Hydraulic Transport of Solid Material in Pipes, Proc. Institution of Mechanical Engineers (London) 1969, 1955).
- [16] VIDAL, V.; Exploitation Des Mines-3 Dunod, (1962).
- [17] ERGİN, Z.; Taş Kömür Havzasında Hidrolik Kömür Madenciliğinin Tecrübe Edilebilme İmkânı, EKI, Tesis İşleri Kütüphanesi, No. 387. (1965).
- [18] BROADHURST, P. H., CROSLAND, R- Development of High - Power Water Jets for the Winning of Coal Underground, The Journal Leeds University Mining Society, Vol No. 36, (1960).
- [19] BAKER, J. H.; Mining By Hydraulic Jets, Mining Congrees May-1965.
- [20] ARIOĞLU, E.; Hidrolik Nakil Projesi Adımlar., (Yayınlanmamış Çalışmadır).
- [21] SHARHA, S. N.; Hydraulic Mining in U.S.S.R Journal of Mines, Metals, Fuels November, (1962).
- [22] MATHUR, S. P.; Hydraulic Mining of Coal, Journal of Mines, Metals, Fuels, May-(1962).
- [23] ARIOĞLU, E.; Hidrolik Nakil, Türkiye Mühendislik Haberleri, İnş. Müh. Odası Yayın Organı, No. 187 Ekim, (1970).
- [24] MAURER, H.; Sovyet Rusya Taş Kömür İşletmelerinde Dik Yatakların İstihracında Tatbik Edilen Mekanizasyon (Glückauf'tan tercüme Madencilik, Mad. Müh. Odası Yayın Organı, Sayı-6, (1962).
- 25 CHI, C. T., CHOU, L. H.; Field Tests of Hyraulic Hoisting Systems, Summary D. 6, Fourth International Mining Congress, (1965).