

Hidrolik Nakliyat

Şfnasl ESKİKAYA *

Giriş :

Zamanımızın teknolojik sahadaki eleştiricilerinden birisi, hidrolik nakliyatı «hakkında çok kimse-nin konuştuğu, fakat bunlardan pek azının ortaya, işe yarar, tutarlı bir şey koyduğu bir bahis» olarak nitelemektedir (1).

Gerçekten de son 40 T 50 yıl içinde hidrolik nakliyat konusunda yoğun bir çalışma yapılmıştır ve halen de yapılmaktadır. Gerek teorik gerekse pratik sahadaki bu çalışmalara ait kütüphane raf-larını dolduracak kadar çok olan uzunlu kısıklı yayınlar gözden geçirildiğinde, ortaya konan sonuçlar-ın konu ile yeni ilgilenen bir kimseyi, çoğu defa, adeta bir lăbirent içine soktuğu görülmektedir. Ay-rıca, birbirinden müstakil bütün bu ciddi çalışma-ların nihai neticesi de hep aynı olmuştur: «Burada izah edildiği şekilde kontrol altına alınmış şartlar ve prosedür içinde, neticelerin şöyle şöyle olduğu anlaşılmaktadır. Ancak emin olmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır ve araştırmalar devam et-melidir.» vs.

Kısa mesafeli boru nakliyatı uzun süredir çe-şitli bölgelerde faaliyet halinde olmakla beraber, uzun mesafeye hidrolik yolla katı nakletmek yeni olup, ortaya koyduğu problemler henüz bütün cep-heleri ile çözülmüş değildir. Yapılmak İstlenen ve yapılan şey, kısa mesafeli boru nakliyatından kaza-nılan tecrübelerin uzun mesafeli nakliyata adapte edilmesidir.

Bir grup araştırmacı, uzun mesafeli boru nakliya-tının tarifini, şöyle yapmaktadır : «300 m. den daha uzağa, toplam olarak asgari 30 m. su sütunu basınç ile yapılan nakliyat!» Şimdi 300 m. den daha uzağa ve 30 m. su sütunundan daha büyük bir basınç altında bir katı+sıvı karışımı nakledilmek İstendiği zaman, kısa mesafe naklinde bahis konusu olma-yan bir sürü sorun ile karşılaşmaktadır. Bunlardan biri ve en önemlisi «bu karışımın hangi hız ile sevki-edileceği» dir.

Eğer nakledilen sadece sıvı olsaydı, yapılacak iş sadece, «en ekonomik çaplı boruda en düşük sürtünme kaybını verecek hızı bulmak» olacaktı. Fa-

kat işin içine bir de katı girince, bu katıların süspan-siyon halinde tutacak olan hız kritik bir değer ka-zanmaktadır. Böyle bir hızda sürtünme kaybı —ne olursa olsun— artık sineye çekilmek mecburiyetin-dedir.

Hızın ne olması lâzım geldiğine dair binlerce deney, yüzlerce teori ve bir o kadar da kazanılmış tecrübe vardır. Fakat özel bir problem özel bir dur-um gözönüne alındığında hızın ne olması gerektiğini doğru ve kesin olarak belirtmek bugün için çok zordur. Gerçi her araştırmacı, bizzat kendi tecrü-belerine dayanmak suretiyle, konu ile ilgili olarak ortaya çıkan soruların cevaplarını bildiğini iddia et-mekte ve buna da inanmaktadır. Ancak bu gibi du-rumlarda teori ile tecrübe arasındaki bağıntının per-çinlenmesi, neticelerin tekrarlanabilir olması ve bun-ların ekonomi ile bağdaştırılması keyfiyeti «halledil-memiş bir problem» olarak kalmaktadır. Hidrolik nakliyat konusunda, Birleşik Amerika Devletleri Ma-den Dairesinin kendi araştırmalarına dayanarak yaptığı teşvikler, Amerika Mühendisler Birliğinin tavsiyeleri ve büyük pompa firmalarının cesaret ve-rici beyanlarına rağmen, Amerika Kömür İşletmele-ri, ekonomik nisbette bir «kömür+su» karışımının boru ile nakledilmesinde, nakil hızının tesbitine e-saslı ve sağlam bir temel teşkil edecek «güvenilir» veriler elde etmek için milyonlarca dolar masrafı göze alarak faaliyete geçmiştir. Bu çabanın neti-cesi olarak, Hidrolik Enstitüsü tarafından teşkil edi-len bir komite, 5 yıl aralıksız çalışıp şu soruya bir cevap aramıştır : «Verilen bir katı maddeyi hangi hız ile nakledersiniz?» Bu beş yıllık süre zarfında bütün bilinen yayınlar elden geçirilmiş, özetler çı-karılmış, soru formları teşkil edilip bu konuda ça-lışın, bilgi sahibi olan ve bilgi sahibi olması gere-ken her şahıs ve kuruluşa gönderilmiştir. Gelen ce-vaplar incelenmiş, ihtiyaca göre yeniden soru form-ları düzenlenip yollanmış, gelen cevaplar incelenen-ek ortaya çıkan neticeler analiz edilmiştir. Bütün bu 5 yıllık kesif çalışmanın sonunda ortaya çıkan cevap «büyük bir soru işareti», varılan netice de «daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu ve çalışma-lara devam edilmesi lâzım geldiği» olmuştur.

Bu yazıda bazı esasları anlatılacak olan hidro-lik nakliyat, işte böyle henüz emekleme devresinde bulunan bir konudur.

* Dr. Yük. Müh. İ.T.Ü. Maden Fakültesi - İstanbul

1. GENEL :

1.1. Tarihçe :

İlk hidrolik nakliyat kavramı, 1850 senesinde Kaliforniya'da altın ihtiva eden kumların su ile 10 ilâ 18 metre yüksekliğe çıkarılmasıyla başlamıştır, denilebilir (2). Bunu takibeden sürede hidrolik nakliyata ait bir çok patente rastlanılmışsa da bunların hiç biri ticari bir ilgi görmemiştir. Taa... ki 1914 senesinde Londra Rıhtımı ile 600 metre uzaklıktaki Hammersmith elektrik santrali arasında 20 cm. çaplı bir boru döşenerek içinde kömür nakledilinceye kadar! Bu hat, 10 sene çalışarak, 1924'de kapanmıştır .Bugün bilinenler o vakit bilinse idi, belki de halâ çalışıyor olacaktı.

Bu ilk tesisten sonra başka hatların kurulmasına devam edilmiştir. 1920'lerde % 40 - 6S.'lik katı konsantrasyonlu karışım halinde antrasit şlamı taşımak için 1,5 km. uzunluğunda bir boru hattı kurulmuş, 1930'larda tesis sayısı daha da çoğalmıştır. Bunlardan birinde .doymuş halde, yılda yarım milyon ton kaya tuzu nakledilmekte idi.

1950'lerde; «kil, kum, nikel-bakır konsantresi, boraks, kömür, cevher, kireçtaşı, fosfat ve bakır konsantresi» gibi çok değişik minerallerin taşınması için sayısız boru hattı tesis edilmişti. 1959'da, 20 den fazla boru hattı, senede 30 milyon ton fosfat, kum ve kil taşımakta idi. Bugün çalışan ve proje safhasında olan hidrolik nakil sistemlerinin uzunluğu ise binlerce kilometreyi bulmaktadır.

1.2. Hidrolik Nakliyatın Fayda ve Mahzurları :

Faydaları kısaca şöyle özetlenebilir :

- (I) Güzergâh bakımından hiç bir nakil sistemi ile kıyaslanmıyacak bir avantaja sahiptir.
- (II) Sürekli bir nakliyata imkân vermektedir.
- (III) Nakliyat için enerji kaynağı taşınmamaktadır.
- (iv) Araç istememektedir,
- (v) Nakil kapasitesi, sistemin işgal ettiği hacime nisbetle çok büyüktür.

Mahzurları ise :

- (i) Güzergâh sabittir, değiştirme serbestliği yoktur.
- (ii) Nakliye kapasitesini değiştirmek kolay değildir.
- (iii) Tesis hangi katı maddenin taşınması için kurulmuşsa ancak o madde nakledilebilir. Böyle bir boru hattında başka bir katının nakli çok zor, bazen de imkânsızdır,
- (iv) Sudan müteessir olan maddeler taşınamaz.

Mamafih bu son mahzur bazı hallerde avantaj halini alır. Meselâ sıcak sülfürik asit tesirlerine mukavim malzemeden yapılmış bir boru hattında, pulverize haldeki fosfatın, boru içinde nakledilirken

aynı zamanda kimyevi bir prosese tabi tutularak, hat sonunda fosforik asit elde edilmesine hazır duruma gelebilme imkânı vardır. Keza odun talaşı naklinde de gene benzer bir teknik tavsiye edilmekte, hattın son kısmının ısıtılarak bu noktada karışıma kimyevi maddenin verilmesi istenmektedir. Böylece karışım, borudan çıktığı zaman yarı pülp haline gelmiş olacaktır.

Sudan müteessir olan maddelerin de hidrolik sistemle nakli için, son senelerde bilhassa Kanada'da yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Taşınacak malzemeler küçük plâstik torbalara doldurulmakta ve boru hattına verilmektedir. «Kapsül nakliyatı» diye isimlendirilebilecek olan bu sistemin ekonomik bakımdan bir büyük faydası ve gene bir büyük sakıncası vardır : Malzeme torbalar içinde kuru olarak taşındığı için, boru hattı sonunda süzme ve kurutma tesislerine ihtiyaç kalmamaktadır. Buna karşılık plâstik torbalara doldurma ve boşaltma masrafları, klâsik sistemlerdeki kurutma tesisi ve işletme masraflarından çok daha fazladır. Netice olarak kapsül nakliyatı bugün için ekonomik değildir.

Hidrolik nakliyatın ekonomik görünüşü çok ümit vericidir. Her şeyden önce yüksek derecede bir otomasyona imkân vermekte, dolayısıyla işçilik masrafları yok denecek kadar azalmaktadır. Ekonomik bakımdan en büyük mahzur, boru hattı sonunda katının sıvıdan ayrılma ve kurutulması işleminin getirdiği masraflardır. Mamafih son zamanlarda, % 60 70'lik konsantre «kömür+su karışımını yakan fırınlar geliştirilmiş ve bu büyük masraf kapısı, hiç olmazsa kömür nakli için, kapatılmıştır.

Hidrolik nakliyatın bir diğer önemli yanı da, sırf nakliyat problemi yüzünden ekonomik olarak çalıştırılmayan madenler için bir tercih unsuru değil, fakat bazı hallerde, madenin işletilme kararına birinci derecede etki eden bir faktör niteliğini kazanmasıdır. Buna en tipik misâl «Tasmania Savage River» demir madenidir. Cevher yatağı 100 yıldan beri bilinmekte olduğu halde ancak son 6-7 senedir işletilmektedir. Madenden alınan «yılda 2,25 milyon ton cevher» hidrolik sistemle 80 km. uzaktaki bir limana pompalanmaktadır (3).

2. TEORİK DÜŞÜNCELER :

2.1. Genel :

Bir katı madde bir sıvı ile karıştırılıp kendi haline bırakılınca şu iki durumdan biri meydana gelir:

a) Katı madde kısa zamanda dibe çöker. Bu halde bir «katı-sıvı karışımı» vardır ve bu tip karışıma «çökelen karışımlar» denir.

b) Katı madde uzun süre sıvı içinde çökmeden kalır. Bu ise «katı-sıvı süspansiyonu» durumudur ve «çökeltiyen karışımlar» diye isimlendirilir.

Hidrolik nakliyat için birinci tip karışımlar bahis konusudur. Bunlar da kendi aralarında «homojen karışımlar» ve «heterojen karışımlar» diye iki genel gruba ayrılır.

Çökme hızı hidrolik nakliyatın hemen hemen en önemli faktörüdür. Çeşitli maddelerin serbest çökme hızının hesabı için araştırmacılar değişik formüller ortaya koymuşlardır. Düşük konsantrasyona karışımlar için çökme hızı, aşağıdaki formülle gerçeğe oldukça yakın olarak hesaplanabilmektedir (4) :

$$w_f^m = \left(\frac{4}{3 C_D} \cdot \epsilon \cdot d \cdot \frac{\rho_k - \rho_s}{\rho_s} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Bu formüldeki C direnç katsayısı (drag coefficient) katı madde parçacıklarının şekline, parçacığın sıvı ortamdaki yerine ve parçacık için belirlenecek Reynolds sayısına bağlıdır. Parçacıklar için Reynolds sayısı ise

$$Re = \frac{V T f d}{\nu} \quad (2)$$

bağıntısı ile belirlenir (2).

Konsantrasyon arttıkça, müferit parçaların çökme olayı diğer parçaların mevcudiyeti ile etkilenir ve bir «gizli çökme» hasil olur. Bu durumda

çökme hızının hesabına değişik yollardan yaklaşılmaktadır. Bunlardan birinde serbest çökme kanunundaki yoğunluk ve vizkozite yerine karışımın zahiri yoğunluk ve vizkozitesi konmakta ve yaklaşık olarak çökme hızı bulunmaktadır. Bu metod nisbeten iri parçalı tanelerin ufak tanecikler arasında süspansiyon durumunda bulunması halinde, çökme hızı için oldukça yaklaşık değerler vermektedir.

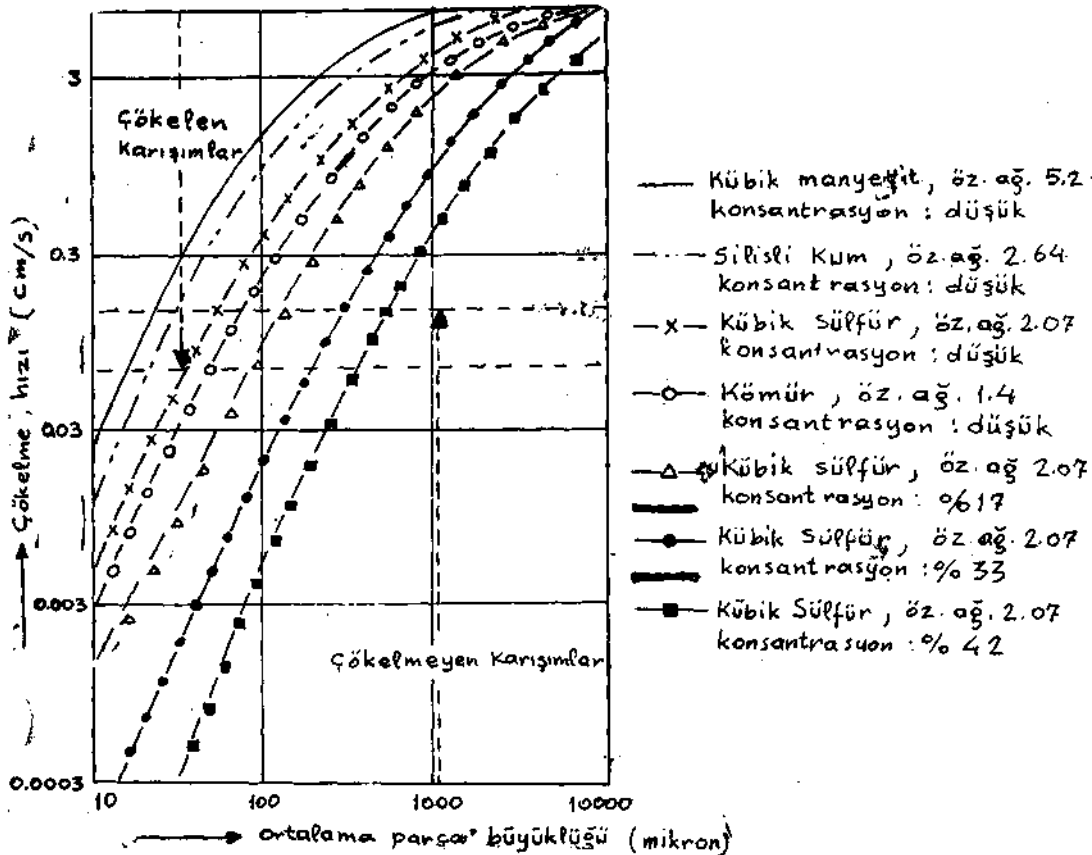
Diğer yandan RICHARDSON ve ZAKI, 100 mikrondan daha büyük parçaların «Sedimentasyon» hızı için (5) :

$$w_c^1 = (1-A)^n w_c \quad (3)$$

şeklinde bir formül ortaya atmışlardır. Bu formülde «n» faktörü, parçanın şekline, Reynolds Sayısına ve nakil yapılan kabın geometrisine bağlıdır. Eğer kab geometrisi tesiri ihmal edilecek olursa n=4,5 olmakta ve % 30'luk bir karışım için, sedimentasyon hızı, serbest çökme hızının ancak % 20'si civarında bir değer almaktadır.

BECK ise, akış hızının çökme hızından çok büyük olması halinde ($W \gg W_c$). çökme hızının STOKES kanunlarına göre :

$$w_c = \frac{d^2}{18} \cdot \frac{\rho_k - \rho_s}{\nu} \quad (4)$$



Şekil 1
Parça Büyüklüğüne Bağlı Olarak Çökme Hızları.

(*) Kab madde parçacıkları, Meal »eklide, çapları d, olan küreler gibi düşünülmektedir.

folmülü ile bulunacağını önermektedir (6). Burada d_j idealize edilmiş parça büyüklüğüdür (*).

Şekil 1'de, çökeltme hızları parça büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Yukarıdan itibaren ilk dört eğride, düşük konsantrasyonu karışımlar için katı yoğunluğunun çökeltme hızı üzerindeki etkisi görülmektedir. Son üç eğri ise aynı bir katı madde için konsantrasyonun etkisini göstermektedir. Bu grafikten, çökeltme hızı değişiminin çok geniş sınırlar dahilinde olduğu ve bu hız üzerinde, parça büyüklüğü ile konsantrasyonun çok büyük, katı yoğunluğunun ise önemli derecede etkili olduğu neticesi çıkmaktadır.

özetle, çökeltme hızı :

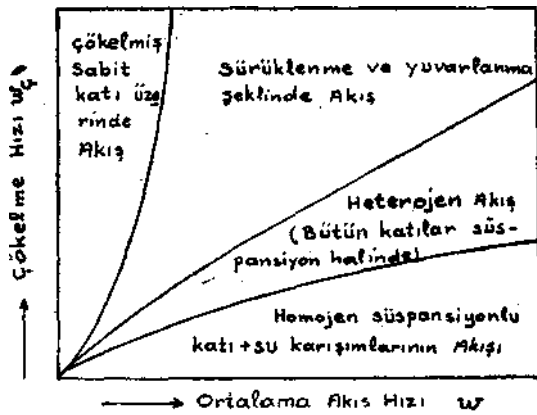
- (i) Konsantrasyon ile ters,
- (ii) Parça büyüklüğü ile doğru,
- (iii) Yoğunluk ile doğru, orantılıdır.

Eğer çökeltmeyen bir karışım bahis konusu olsa idi, çökeltme olayını ihmal edip, karışımı homojen bir sıvı gibi kabul ederek, bu sıvının göstereceği plâstik özelliğe göre akışkanlar dinamiğinin bilinen denklemlerinden biri yardımıyla «basınç gradyeni» hesaplamak mümkün olurdu.

Fakat daha önce de değinildiği gibi, hidrolik nakliyatta hemen bütün karışımlar «çökelen» cinsindedir ve çok büyük hızlar hariç, çökeltme tesiri ihmal edilemez.

2.2. Akış Nitelikleri :

Şekil 2'de, akış ve çökeltme hızına bağlı olarak belirlenen «akış bölgeleri» verilmiştir. Genellikle, parça büyüklüğü 0,125 mm. den daha büyükse



Şekil 2

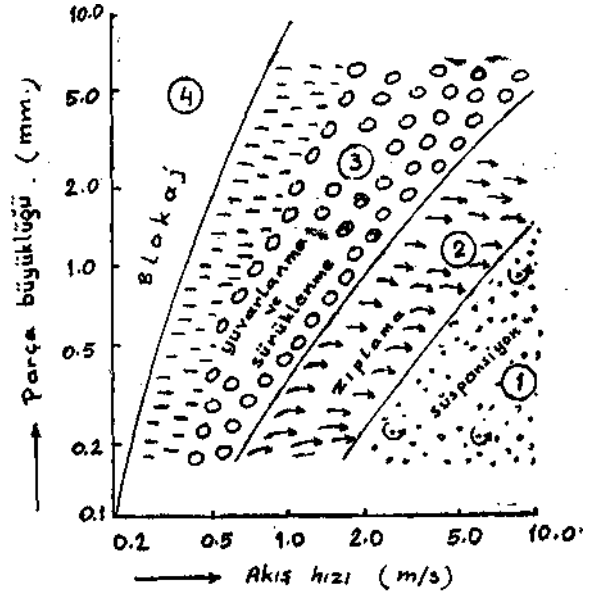
Akış ve Çökeltme Hızlarına Bağlı Olarak Akış Nitelik Bölgeleri

karışımın homojen olacağı iddia edilmektedir. Mamafih bir araştırmacı üst sınır olarak bundan 10 defa daha büyük bir değer ileri sürmüştür. Son araş-

tırmalar ise, karışımları böyle parça büyüklüğüne göre «homojen ve heterojen» diye ikiye ayırmanın, 270-65 meş arasındaki maddeler için eksik yapılmış bir ayırım olacağını ortaya çıkarmıştır.

Akış nitelik bölgelerinin, akış hızı ve parça büyüklüğüne bağlı olarak belirlenmesi de, gene Şekil 2'dekine benzer bir durum ortaya koymaktadır (Şekil 3).

Mamafih Şekil 3, daha ziyade «karışımın» ve ya «karışım içindeki katının» hareket şekli esas alınarak çizilmiştir. Nitekim (1) bölgede katı hareketinin niteliği «yüzücü» olmasıdır. Yani katı madde sıvı cinde süspansiyon halinde tutulmakta ve süre-

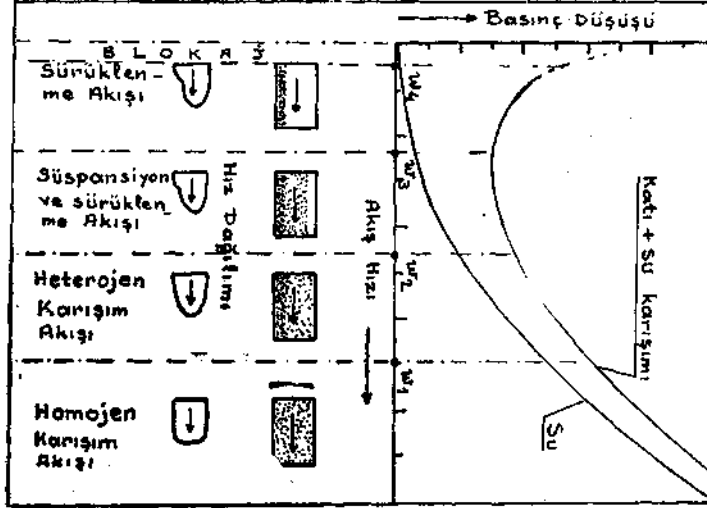


li bir hareket temin edilmektedir. (2) bölgede ise parçacıklar uzun mesafelerle zıplama hareketi yapmakta ve böylece nakil işi gerçekleşmektedir. (3) bölgede artık zıplama da yoktur ve parçalar kısmen yuvarlanmak kısmen de boru tabanında sürüklenmek suretiyle hareket etmektedirler. (4) bölge parçaların büyük, buna karşılık taşıma hızının düşük olduğu bölgedir ki, bu kısımda artık boru tıkanmıştır ve içindeki katı madde hareket edememektedir.

Karışımların akış durumları Şekil 4'de biraz daha açıklığa kavuşmuş olarak belirtilmiştir. Burada akış rejimleri, «basınç gradyeni» ve «akış hızı» bakımından aşağıdaki nitelik bölgelerine ayrılmış bulunmaktadır :

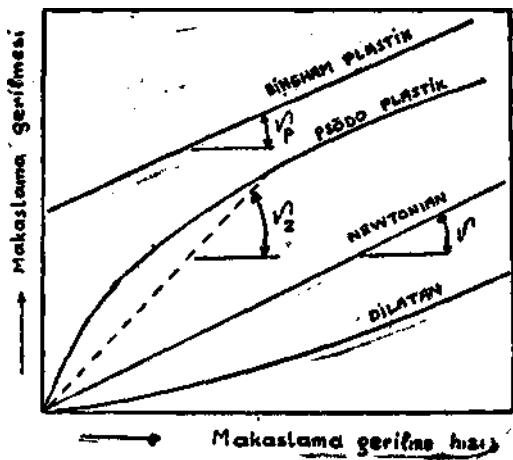
u_j 'in üzerindeki hızlar için :

Akış hızının belli bir w_j değerinin üzerinde bulunduğu sağdan ilk bölgede, bütün katıların, türbülans akım kuvvetleri ile süspansiyon halinde tu-



Şekil 4
Hidrolik Nakliyyatta Akış Hızına Bağlı Olarak Akış Nitelik Bölgeleri ve Basınç Gradyeninin Durumu

tulduğu ve karışımın homojen olduğu kabul edilmektedir. Konsantrasyonun düşük olması halinde, karışımın dansite ve vizkozitesel hemen taşıyıcı sıvıtnkine eşittir. Mamafih konsantrasyon arttıkça, parçaların birbirlerine sürtünmeleri ve kendi hareketlerini sınırlamaları dolayısıyla, karışımın hidrodinamik karakteri taşıyıcı sıvıtnkından hayli değişik bir hüviyet kazanır. Şekil 5, Newtonian olmayan sıvıların 3 değişik sınıfını göstermektedir (8). Bingham plâstik, küçük kayma (veya makaslama) gerilmelerine (shear stresses) mukavemet edecek



V_p : plastik vizkozite
 V_2 : zahiri vizkozite

Şekil 5

Newtonian Olmayan Karışımların Sınıflandırılması

derecede rijit olan, fakat bu gerilmelerin bir değerinden sonra kopup dağılma gösteren üç boyutlu bir yapı özelliğine sahiptir. Psödo plâstik sıvılar için böyle bir limit gerilme değeri yoktur. Bu gibi sıvılarda makaslama gerilme hızı arttıkça katı parçacıkları, akış istikâmeti boyunca gittikçe büyüyen ölçüde yönlendirirler. Bu yön alma işi tamamlanınca, akış eğrisi, şekilde görüldüğü gibi lineere yakın bir durum alır. Artık vizkozite de hemen hemen sabitleşmiştir. Dilatan sıvılarda ise, parçacıklar arasındaki boşluklar sükûnet halinde iken minimumdur, fakat hareket başlayıp da hız yükseldikçe boşluk nisbeti büyür ve zahiri vizkozite artar.

Newtonian olmayan bu üç grup sıvıdan her birinin «zaman içinde değişen» özellikleri olabileceğini de gözden uzak tutmamak gerekir. Meselâ zahiri vizkozite, sadece kayma gerilmesi hızı ile değil, fakat «zaman» faktörü ile de değişebilmektedir. Mamafih bu gibi durumlar madencilikteki uygulamalarda pek söz konusu olmamaktadır.

Netice olarak söylemek gerekirse, 0,125 mm. den daha küçük parçalardan meydana gelen karışımlarda, çok düşük hızlarda bile, akışı türbülans rejiminde tutmak mümkündür. Parçalar (belli bir limit içinde kalmak şartıyla) büyüye bile, gene homojen dağılımı temin edecek bir w_m hızı bulunacaktır. Bu yüzden karışımı, tek bileşenle nitelenen bir sıvı gibi kabul edip hesaplamaları ona göre yapmak gerekir.

W_1 - W_2 Bölgesi:

Bu bölgede parçaların konsantrasyon dağılımı simetrik değildir. Borunun tabanına doğru konsant-

rasyon artmaktadır. Taşınan maddenin özgül ağırlığı veya parça büyüklüğü arttıkça, bu parçaların süspansiyon halinde tutulması için gerekli kuvvet de artacaktır. Bu ise çok büyük hızları gerektirir ki, yüksek sürtünme kuvvetlerine sebep olacağı için istenmez. Başka bir deyişle, büyük parçaları (0,125 mm. den daha büyük) süspansiyon halinde tutarak nakletmek ekonomik olmamaktadır.

W₂-W₃ Bölgesi:

Karışımdaki parça büyüklükleri çok değişirse, iri parçalar boru dibine çökerek bir yatak meydana getirirler. Bu yatak, sıvının çekme etkisi altında, «kayma-sürüklenme» tipinde bir hareket yapar. Yatak üzerinde ince taneler süspansiyon halinde bulunurlar. Bu Bölgede, yatak teşekkülü dolayısıyla efektif boru kesiti daralmış ve sıvının akış hızı artık zahiri değerine çıkmıştır.

W₃-W₄ Bölgesi:

Yatağın kalınlığı büyüdükçe alt kısmı, sıvının sürüklenme etkisinin dışına çıkarak hareketsizleşir. Sadece üst kısım hareket etmektedir. Katı madde boruda birikmeye ve yatağın kalınlığını artırarak borunun efektif kesitini daraltmaya devam eder. Kesit azaldıkça sıvının hızı artar ve yatağın üst kısmını hareket ettirecek bir kuvvetin doğmasına sebep olur. Durum bu şekilde münavebeli olarak devam eder.

W₄'Un Altındaki Hız Bölgesi:

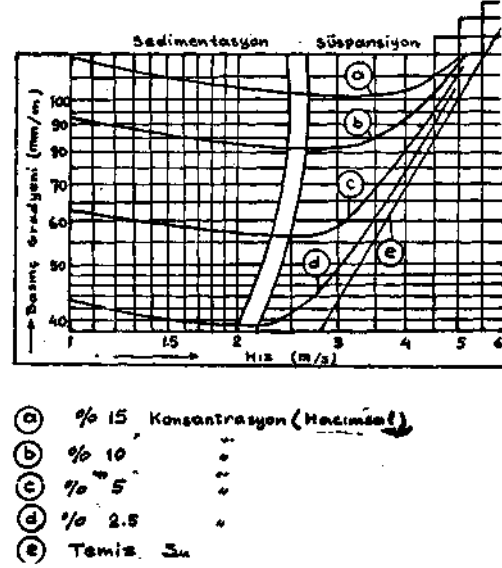
Hız azaldıkça parçacıkların çökme hızı önem kazanır. Yatak artık tamamen dibe çökmüştür. Ve nakil işi ufak sürüklenme hareketleri şeklinde meydana gelmektedir. Konsantrasyon borunun tabanında yoğun bir hal almıştır. Heme kadar bu konsantrasyon kesafeti, parçaların birbirlerine sürtünmesinden dolayı çökme hızı üzerinde frenleyici bir etki gösterirse de, akış hızının çok düşük olması, bu akış bölgesinin «sürüklenme» niteliğinde kalması neticesini doğurmaktadır.

Kritik akış hızı, «nakliyat esnasında boruda çökme meydana getirmeyen hız» olarak tanımlanır. Bu hız civarında çalışıldığı zaman, belli bir konsantrasyon ile bir katı maddeyi verilen bir mesafeye nakletmek için gerekli gücün, teorik olarak, minimum değerinde bulunacağı iddia edilmektedir. Hızın çok düşük olması halinde kapasite düşmekte, büyük hızlarda ise «boru-sıvı» ve «boru-katı» arasındaki sürtünmeler artarak, önemli derecede basınç kayıpları meydana gelmektedir.

Diğer yandan konsantrasyon için de durum aynıdır :

Düşük konsantrasyonlarda boruda lüzumundan fazla ve boş yere su taşınacak, konsantrasyonun

çok yüksek olması halinde de basınç kayıpları artacaktır. Değişik konsantrasyonlar için, basınç gradyeninin hızı bağılı olarak nasıl değiştiği Şekil 6'da verilmiştir (2). Bu eğriler bir boru hattını minimum basınç kaybı ile çalıştırmak için, parça büyüklüğü ve konsantrasyonun «optimum olarak tesbit edilmiş» olan değerlerde tutulmasının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu sebeple parça büyüklüğü veya konsantrasyondaki beklenmeyen (fakat olağan) bir artıştan dolayı hasıl olabilecek tikanmalara meydan vermemek için, büyük boru hatları genellikle minimum basınç kaybı noktalarının daha sağında bir yerde çalıştırılırlar.



Şekil 6
Basınç Gradyentini Hıza Bağlı Olarak Değişimi

2.3. Basınç Gradyenleri :

Hidrolik nakliyat yapılan bir boru hattında meydana gelen toplam basınç düşüşü, suyun ve katı maddenin sebep oldukları basınç düşüşlerinin toplamına eşittir. Bu durum

$$P = P_s + f(C) \dots \dots \dots (5)$$

bağıntısı ile belirlenir (7). Burada f(C), katı maddenin naklinden dolayı hasıl olan basınç düşüşüdür ve konsantrasyonun bir fonksiyonu olarak belirlenmektedir. Çok basit durumlar için geçerli olan bu denklem, daha karmaşık basınç kaybı olaylarını da kapsamak üzere, sonraları şu şekilde geliştirilmiştir :

$$\frac{P-P_s}{Ch-P_s} = * \dots \dots \dots (6)$$

Burada d> , akışı karakterize eden faktörlerden bir çoğunu içine alan bir fonksiyondur.

(6) numaralı ifade hidrolik nakliyatın en önemli bağıntısıdır. fonksiyonunun mahiyetinin daha iyi anlaşılabilmesi için biraz daha detaya inmek gerekir. DURAND ve CONDOLIOS uzun yıllar süren çalışmalar sonunda fonksiyonunu «karışımın akış hızı, boru çapı, konsantrasyon ve katı maddeye alt özellikler» vasıtasıyla :

$$\Phi = K \left[\frac{w^2}{g \cdot D \cdot (f_k - 1)} \cdot \sqrt{C_D} \right]^{-3/2} \quad (7)$$

şeklinde ifade etmişlerdir (2). BABCOCK ise, aynı araştırmacıların çalışmalarına atfen, K katsayısının değerini de koymak suretiyle yukardaki ifadeyi :

$$\Phi = 81 \left[\frac{w^2}{g \cdot D \cdot (f_k - 1)} \cdot \sqrt{C_D} \right]^{-3/2} \quad (8)$$

olarak vermektedir (7). Bu eşitliğin çözümü için C_D katsayısının bilinmesi gerekir. C_D 'nin küre şeklindeki parçacıklar için değeri

$$C_D = \frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot d \cdot (f_k - 1)}{w_c^2} \dots\dots\dots$$

formülü ile belirlenir.

Pratikte hızını ölçerek bulmak mümkün ise de bu işlem kolay değildir. Bu sebeple yeni bağıntılardan yararlanmak yoluna gidilir. Bunlardan bir tanesi, katı madde parçalarının küre gibi kabul edilmesi halinde, bu parçalar için Reynolds sayısı diye tariflenen

$$Re' = \frac{w_c \cdot d}{\nu} \dots\dots\dots (10)$$

bağıntısıdır. (9) ve (10) ifadelerinin logaritmaları alınıp w_c elimine edillrek :

$$\log C_D = -2 \log Re' + \log \left(\frac{4g(f_k - 1)d^3}{3\nu^2} \right) \quad (11)$$

bulunur. Bu bağıntıdan :

Re' = 1 için :

$$C_D = \frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot d^3 \cdot (f_k - 1)}{\nu^2} \quad (21) \dots\dots\dots$$

ve

$$\Phi = 65 \left[\frac{w^2}{g \cdot D \cdot (f_k - 1)} \cdot \frac{\sqrt{g \cdot d \cdot (f_k - 1)}}{w_c} \right]^{-3/2} \quad H 4;$$

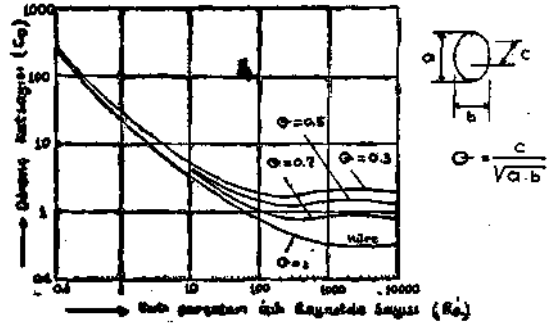
şeklinde verilmiştir. Bu durum (6) ifadesi :

$$\frac{P - P_2}{C_h \cdot P_0} = 65 \left[\frac{w^2}{g \cdot D \cdot (f_k - 1)} \cdot \frac{\sqrt{g \cdot d \cdot (f_k - 1)}}{w_c} \right]^{-3/2} \quad (15)$$

$$C_D = 1 \text{ için :} \\ Re' = \left(\frac{4g \cdot d^3 \cdot (f_k - 1)}{3\nu^2} \right)^{1/2}$$

neticeleri çıkar. Şimdi artık (9 ve 10) bağıntıları, C_D , w_c ve d bilinmeyenlerini çözmek için kullanılabilir. Gerekli olan üçüncü bağıntı ise küreler için verilen C_D - Re eğrisinden bulunur.

İşkil 7'de, çeşitli araştırmacıların deney neticelerini yansıtarak C_D ile Re arasında çizilmiş esriler görülmektedir (8). «Şekil Faktörü», açıkça anlaşılacağı gibi küreler için 1'dir $dg = 1$. o küçüldükçe —yâni parçalar küreselliklerini kaybettikçe— direnç katsayısı C_D büyümekte; Reynolds Sayısı'nın 400 değeri civarında bir minimum gösterdikten sonra, sayının daha büyük değerleri için yeniden artmaktadır.



Şekil 7
Çeşitli Maddeler ve Değişik Parça Şekilleri İçin C Direnç Katsayısının Değişimi

Görüldüğü gibi C_D 'nin hesabı uzun ve karışıktr. Bunun yerine (8) formülünü içinde C_D faktörünün bulunmadığı bir şekle dönüştürmek ve bu arada, C_D yerine ondan daha birincil bir parametre olan çökme hızını ifadeye dahil etmek, formülün kullanılabilirliği bakımından oldukça isabetli olacaktır. Böyle bir bağıntı, gene BABCOCK tarafından :

nihai şeklini almaktadır. Dikkat edileceği gibi bu son bağıntıda köşeli parantez içindeki terimlerden ikincisi, (8) numaralı ifadedeki C teriminin yerini almış, bu arada K katsayısının değeri de değişmiştir.

Mamafih NEMTT ve arkadaşları, 2 mm. den daha büyük parçaların «kayma-sürüklenme» veya «zıplama» şeklindeki akış hareketlerini niteleyen daha basit bir bağıntı olarak :

$$\frac{P - P_2}{C_D + R_3} = 66 \left[\frac{R \cdot D (\rho_k - 1)}{w^2} \right] \dots \dots \dots (16)$$

formülünü vermektedirler (9).

Şekil 8'de, bu formüle göre hesaplanmış olan basınç düşüşleri ile, ölçme yoluyla elde edilen gerçek basınç düşüşlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Birinci grafikte, hemen hemen aynı büyüklük sınırı içindeki muhtelif maddelerle yapılan deney neticeleri verilmiştir. İkinci grafikte ise, aynı maddenin değişik büyüklükleri kullanılarak elde edilen neticeler vardır. Yiğilmanın 45°'lik köşegen boyunca olması, teori ile gerçek arasında çok iyi bir uyuşma bulunduğunu göstermektedir.

Gerçek Basınç Düşüşü ile Karşılaştırılması

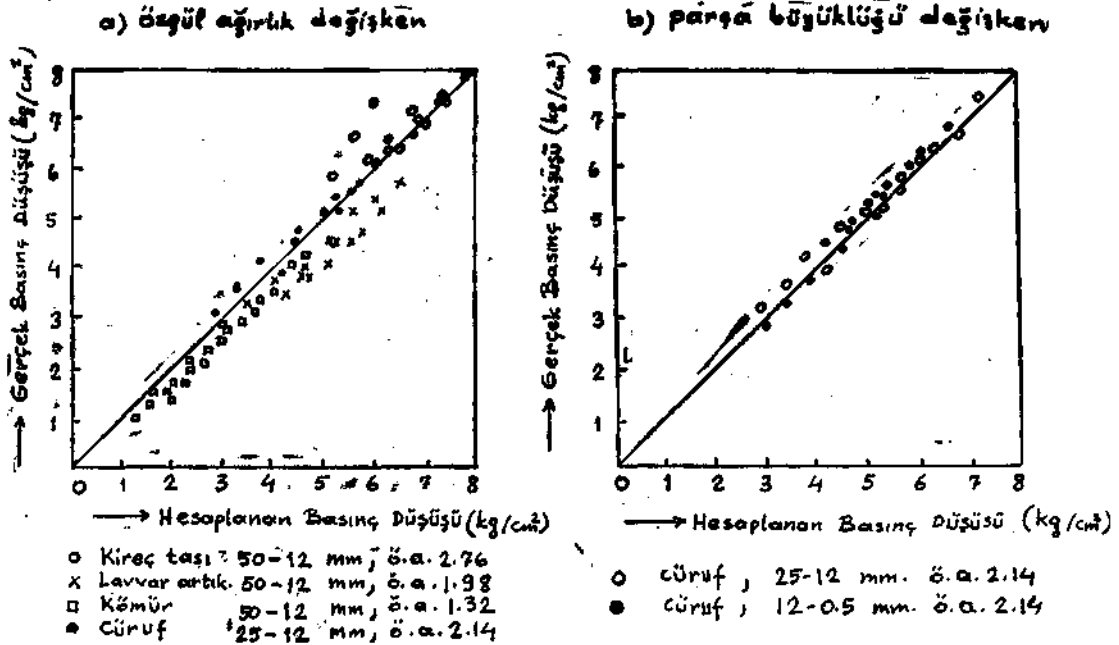
Basınç kaybının «akış hızının fonksiyonu» olarak değişimi, hidrolik nakliyatın en önemli inceleme konusudur. Basınç kaybı, genellikle hız yükseldikçe artmaktadır. Bu kayıp, taşınan malzemenin özgül ağırlığı ile de doğru orantılı olarak değişir. Yani ağır maddelerin naklindeki basınç düşüşü daha fazla olmaktadır.

Şekil 9'da, basınç kaybının «özgül ağırlık, akış hızı ve konsantrasyon» ile nasıl değiştiği görülmektedir (10).

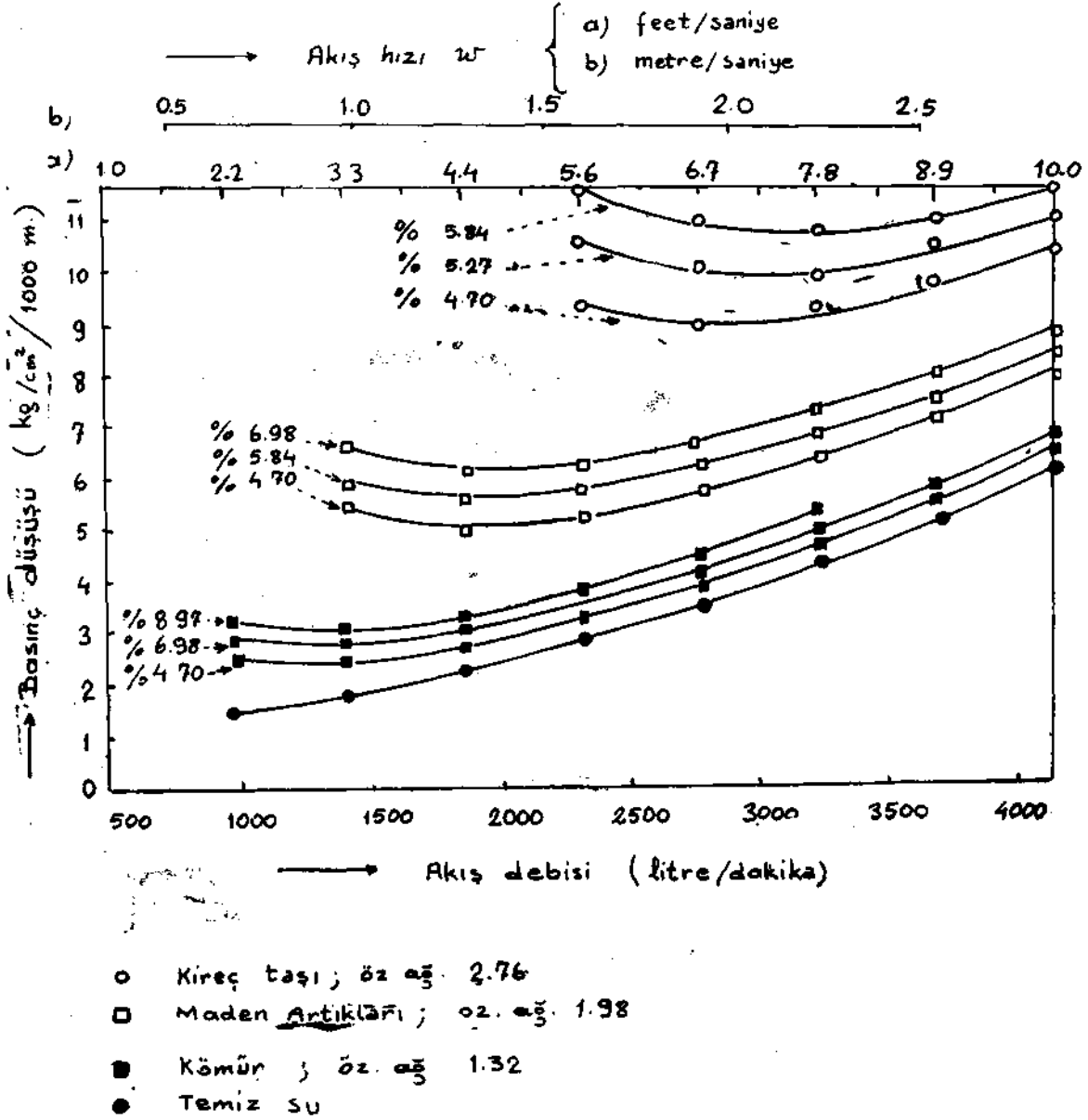
Mamafih üç değişik madde için de, basınç düşüşünün minimum olduğu bir akış hızının mevcudiyeti gene şekilden anlaşılmaktadır. Bu hızlar kireç taşı için 2.2, lavuar artıkları için 1.3 ve kömür için 1.0 m/s civarındadır. Herkadar bu hızlar laboratuvar deneylerine ait neticelere dayanmakta ise de, eğrilerin değişik parametrelere göre gösterdiği genel eğilim uygulama ile uyuşma halindedir. Nitekim, enerji bakımından minimum demek olan bu noktalar Şekil 5'deki «sedimentasyon fazından süspansiyon fazına geçiş» teki geçiş noktalarına benzemektedir. Mamafih bu noktalar, kritik hızlara tekabül eden noktaların altındadırlar. Yani minimum basınç kaybı, maddelerin boru tabanında «sürüklenme ve yuvarlanma» akış rejimi ile taşınmaları durumuna tekabül etmektedir.

2.4. En Uygun (Optimum) Hızın Hesabı :

Hidrolik nakliyat esnasında boru boyunca hasil olan basınç kaybınının, sıvı ve katı maddelerin hare-



Şekil 8
Hesaplama Yolu İle Bulunan Basınç Düşüşünün



Şekil 10
Klavuz Değerlerin Fonksiyonu olarak Basınç
Düşüşü Gradyenleri

ketine karşı olan dirençlerin toplamı ile ilgili bulunduğu daha önce değinilmiş ve bu durum, (5) no. lu bağıntı ile de ifade edilme yoluna gidilmiştir. Prof. GİMM bu bağıntıyı, kitabında (11):

$$P = \mu \frac{w}{2g.D} + C_h \frac{k}{w} \dots\dots\dots (17)$$

şeklinde vermektedir (11). Burada k hız ile ilgili bir katsayı olup, meselâ lösier için 0,1, lös ve ince gravel için 0.2 değerlerini alır.

Formülde de görüldüğü gibi, basınç kaybı, sıvı için hızın karesi ile artarken, katı için, tersine, hız arttıkça azalmaktadır. Bu durum, katı ve sıvının hareketlerin karşı koyan dirençlerin toplamının, bir noktada «minimum» değeri almasına yol açar. «Optimum Hız», karışımın akış direncinin işte böyle minimum bir değerde tutulduğu hızdır.

(16) ifadesinde, P basınç kaybının hızına göre differansiye edilmesi, optimum hızın bulunmasını mümkün kılacaktır. Yani :

$$\frac{d(P)}{d\omega} = \frac{\omega}{gD} - C_h \frac{k}{\omega^2} \quad (*) \quad (18)$$

yapılıp

$$\frac{d(P)}{d\omega} = 0 \quad (19)$$

konularak :

$$\omega_0 = \sqrt[3]{\frac{g \cdot D \cdot C_h \cdot k}{\mu}} \quad (20)$$

şeklinde optimum hız ifadesi elde edilir.

Verilmiş şartlar içinde, bu formül yardımıyla optimum hızın hesabı çok kolaydır. Meselâ $D = 0,26$ m.,

$C_h = 50$ ve

$\mu = 0,017$ değerleri kullanılarak:

$k = 0,20$ m/s için $\omega_0 = 2,46$ m/s

$k = 0,15$ » » $\omega_0 = 2,24$ »

$k = 0,10$ » » $\omega_0 = 1,96$ »

neticeleri kolayca bulunabilmektedir.

2.5. Parametrelerin Gruplaşması :

Hidrolik nakliyat tekniğinde, 8'i katı maddenin fiziki özelliklerine, 10'u karışımın fiziki özelliklerine, 14'ü de tesis tekniğine bağlı olmak üzere 32 değişken vardır (2). Bunlardan katı maddeye ait olan özelliklerin ikisi ön plânda gelen bir önem taşır : Maddenin özgül ağırlığı ve parça büyüklüğü!. Bu iki özellik, neticede, karışımın konsantrasyonu ile akış hızını (dolayısıyla kritik hızı) belirleyen ana faktörler olmaktadır.

Mamafih bu kadar çok değişkenle, hidrolik nakliyatı, pratik ve tekniği kolay anlaşılabilir çözümlere götürmek zordur. Bu yüzden bazı araştırmacılar parametreleri gruplandırmak suretiyle bütün akışı bir tek veya mümkün olduğu kadar az sayıda eğri ile ifade etmek yoluna gitmişlerdir. Tablo 1, deney neticelerinden bazılarının gruplandırılışı hakkında bir fikir vermektedir (12). Karışımın «akış hızı, konsantrasyon ve sıcaklık» parametreleri «klavuz değer» adı altında bir tek sayı ile ifade edilmişlerdir. Klavuz değerler, «3. sütündeki değerlerin 4. sütündakilerle çarpımı ve neticeden 5. sütündaki sayının yarısının çıkarılması» yoluyla bulunmuştur.

T A B L O 1
Karışımın özellikleri ile Basınç Düşüşü
Arasındaki Bağlıntılar

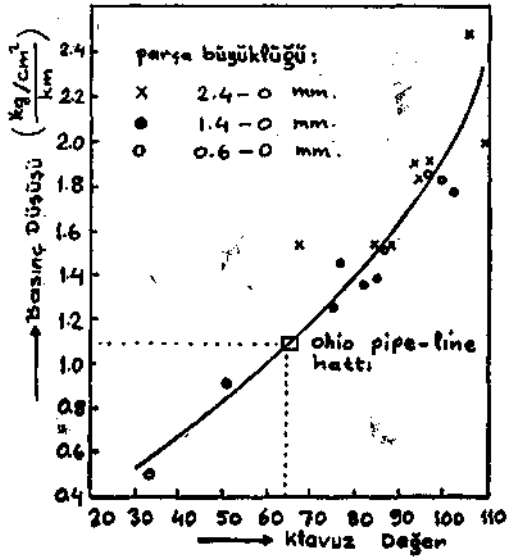
Deney No.	Kömürün Parça Büyüklüğü mm.	Karışım Hızı m/s	Konsantrasyon (ağırlık) %	Sıcaklık °C	Basınç Düşüşü kg/cm ² km	Klavuz Değer	Sürtünme Toplam Faktörü
1	2	3	4	5	6	7	8
9	2.4—0	1.71	50.3	7	1.36	82.5	0.0051
15	2.4—0	1.83	51.2	11	1.54	87.2	0.0051
45	2.4—0	1.86	51.4	19	1.54	85.1	0.0057
23	2.4—0	1.86	53.2	11	1.91	93.5	0.0054
33	2.4—0	1.86	59.6	11	2.49	105.3	0.0066
25	2.4—0	1.89	52.7	10	1.84	94.6	0.0054
59	2.4—0	1.89	38.1	29	1.92	97.0	0.0056
43	2.4—0	1.95	53.5	17	1.56	67.4	0.0054
21	2.4—0	2.16	58.9	12	2.00	109.5	0.0047
37	1.4—0	1.22	49.3	17	0.91	51.1	0.0060
63	1.4—0	1.77	50.1	28	1.26	74.8	0.0043
27	1.4—0	1.83	48.8	11	1.39	84.7	0.0045
61	1.4—0	1.83	49.3	27	1.45	76.6	0.0043
7	1.4—0	1.86	47.7	12	1.36	82.8	0.0042
39	1.4—0	2.19	50.6	18	1.78	101.8	0.0042
49	0.6—0	0.91	47.6	20	0.51	33.3	0.0054
5	0.6—0	1.84	50.3	13	1.40	86.1	0.0044
47	0.6—0	1.86	51.0	17	1.52	86.4	0.0045
50	0.6—0	2.13	50.1	20	1.84	96.6	0.0042

(*) 18 ve 19 No. lu ifadelerde kullanılan türev alma sembolü «d» yi, parça büyüklüğünü gösteren «d» ile karıştırmamak gerekir.

Yâni:

$$\frac{\text{Klavuz Değer} = (\text{Akış hızı} \times \text{Konsantrasyon})}{1} \cdot \frac{1}{2} \text{ sıcaklık}$$

Tablo 1'deki değerlerden yararlanılarak çizilen Şekil 7'deki grafik, basınç düşüşü gradyeni ile klavuz değerler arasındaki fonksiyonel bağıntıyı göstermektedir. Şekilde «Ohio Hattı»nın çalışma rejimi de işaretlenmiş bulunmaktadır.



İo 30 40 50 60 70 80 90 100 «o
» klavuz Değer

Şekil »

özgül ağırlık, Akış hızı, Akış Debisi ve Hacimsel Konsantrasyona Bağlı Olarak Basınç Kaybının Değişimi

Eğer bu grafik, geçerliliği her şart altında ispatlanmış ve kabul edilmiş bir nitelik taşısa idi, muhakkak ki bir çok bakımdan çok kullanışlı bir bağıntı elde edilmiş olunacaktı. İlgili çekici ve bilinmesi gereken husus şudur: Misâl olarak Ohio Hattı ele alındığında, Klavuz Değer 64 olunca, bu sayıyı teşkil eden parametre değerlerinin nisbetleri ne olursa olsun daima hidrolik nakil yapılabilir mi? Yâni hızı, meselâ 1 m/s'nin altına düşürüp konsantrasyon yüzdesini «Klavuz Değeri 64 Yapacak» şekilde arttırmakla boru hattı çalıştırılabilir mi? Yazının kanaatine göre hayır! Şu halde, bu klavuz değerler içinde de onu meydana getiren parametreler için bazı alt ve üst limitlerin olması gerekir.

2.6 — Güç Hesabı :

DURAND, kumlarla yaptığı deneylerde (7) numaralı bağıntıdaki K katsayısı için 180 değerini bulmuştur. ELLIS ve arkadaşları, kum için $\omega_k = 2.65$

alıp geriye doğru gitmek suretiyle her katı için geçerli olan genel <f> ifadesini :

$$\phi = 85 \cdot \left[\frac{\omega^2}{g \cdot D (f_k - 1)} \cdot \sqrt{C_D} \right]^{-\frac{3}{2}} \quad (21)$$

olarak vermektedirler. Basınç düşüşü parametrelerinin de dahil edilmesiyle yukarıdaki formül :

$$\frac{P - P_s}{C_h \cdot P_s} = 85 \cdot \left[\frac{\omega^2}{g \cdot D (f_k - 1)} \sqrt{C_D} \right]^{-\frac{3}{2}} \quad (22)$$

şeklini alır. Sıvı hareketinden dolayı meydana gelen basınç kaybı :

$$P_s = \frac{m \cdot \omega^2}{2 \cdot g \cdot D} \quad (23)$$

İle belirlendiğinden, (22) numaralı bağıntıda P, yerine (23)'deki eşdeğeri konularak:

$$P = 0.05086,$$

$$\frac{m \cdot \omega^2}{D} \cdot \left[1 + \frac{2610 \cdot C_h}{C_D^{0.75}} \left(\frac{D (f_k - 1)}{\omega^2} \right)^{1.5} \right] \quad (24)$$

ifadesi elde edilmektedir. Bu formülde «P» nin birimi kg/cm² olarak alınmıştır.

Bir katı maddenin su ile karışık halde nakledilmesi olayında meydana gelecek toplam basınç düşüşü tesisin beher metresi için (24) deki şekliyle belirlendikten sonra, artık boru hattı için gerekli gücün hesaplanması yapılabilecektir. Boru hattının beher kilometre uzunluğu başına isabet eden güç

$$N_t = 5,75 \cdot P \cdot \omega \cdot D^2 \quad (25)$$

ifadesi ile aranılan değer hesaplanabilir.

Bu formülde P basınç düşüşü, tesisin beher metresi için «metre su sütünü» olarak ve D boru çapı da, hesap kolaylığı bakımından «santimetre» cinsinden alınmışlardır. P faktörünün tesisin beher metresi için kg/cm² cinsinden ifade edilmesiyle, (25) formülü :

$$N_t = 57,5 \cdot P \cdot \omega \cdot D^2 \quad (26)$$

şeklini alır. D çapı, burada da santimetre cinsindedir.

Hidrolik nakil tesislerinde kullanılan pompaların cins, karakter ve çalışma özellikleri bu yazının çerçevesi dışında tutulmuştur. Ancak en çok kullanılan pompa tipinin «santrifüj pompalar» olduğunu burada belirtmek yerinde olur. Sabit devir sayısı ile çalışan bu pompalarla yapılan nakliyatla belli bir «debi, boru uzunluğu ve konsantrasyon» için, ton - kilometre başına düşen enerji sarfiyatı, nakledilen malzemenin dansitesi ile ters orantılı olmaktadır yani daha ağır maddeler daha az güç sarfiyatı ile nakledilmektedirler. Bu durum Şekil 11'de üç ayrı madde ve üç ayrı konsantrasyon için, deney neticelerine dayanılarak belirtilmiştir (10). Her üç madde arasındaki mukayesenin tam yapılabilmesi için Şekil 11'deki eğrilerden sadece % 4.70 konsantrasyonu tekabül edenleri, Şekil 12'de yeniden bir araya getirilmişlerdir. Burada da gene, daha ağır maddelerin, hidrolik nakilde, daha az güç sarfiyatını gerektirdiği açıkça belli olmaktadır.

3. EKONOMİK GÖRÜNÜŞÜ:

Hidrolik nakliyatın ekonomik olma limiti, kendi tekniğinin empoze ettiği şartların yanısıra, bölgesel imkânlarla da bağlıdır. Meselâ, halen çalışmakta olan boru hatlarından biri normal ölçülere vurulduğunda ekonomik sınırın altında bir görüntüye sahip olduğu halde, hattın sonunda «su» ya duyulan ihtiyaç, tesisi ekonomik yapmakta ve onu faaliyette tutmaktadır. Bu ve benzeri durumlar, nakliyatın ekonomisi bakımından bir genelleştirme yapmaktansa, dünyada mevcut bir kaç boru hattına ait örnekler vermenin daha isabetli olacağı kanısını uyandırmaktadır.

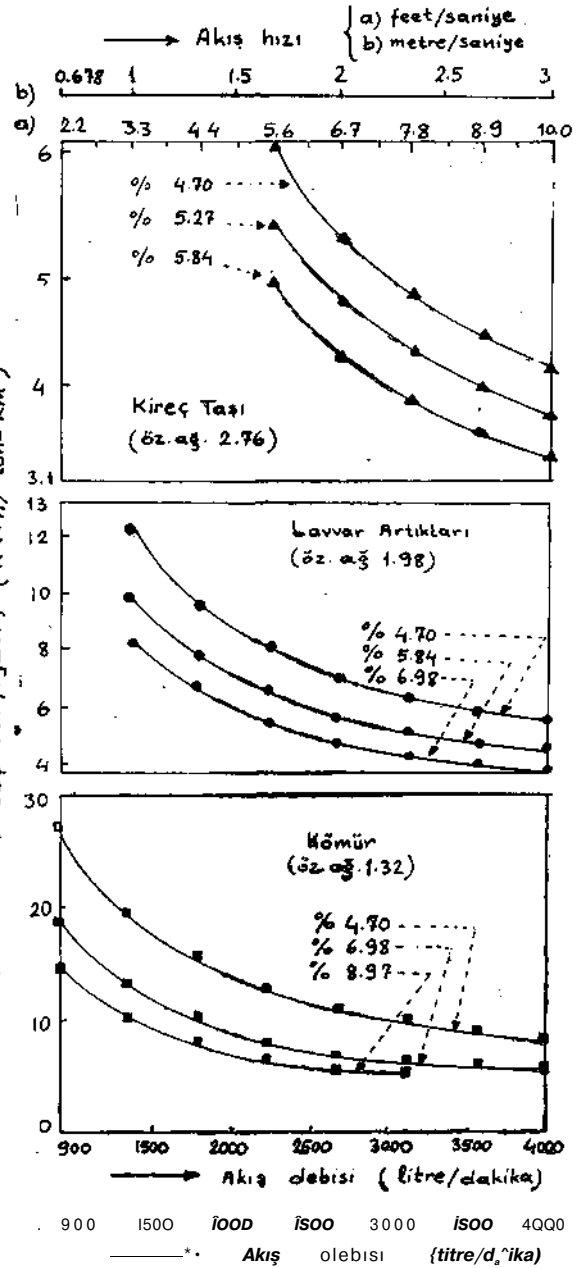
3.1. Genel

Ekonomi deyince, akla gelen başlıca masraf kaynakları :

- (i) Tesis masrafları,
- (ii) Enerji sarfiyatı,
- (iii) İşçilik masrafları,

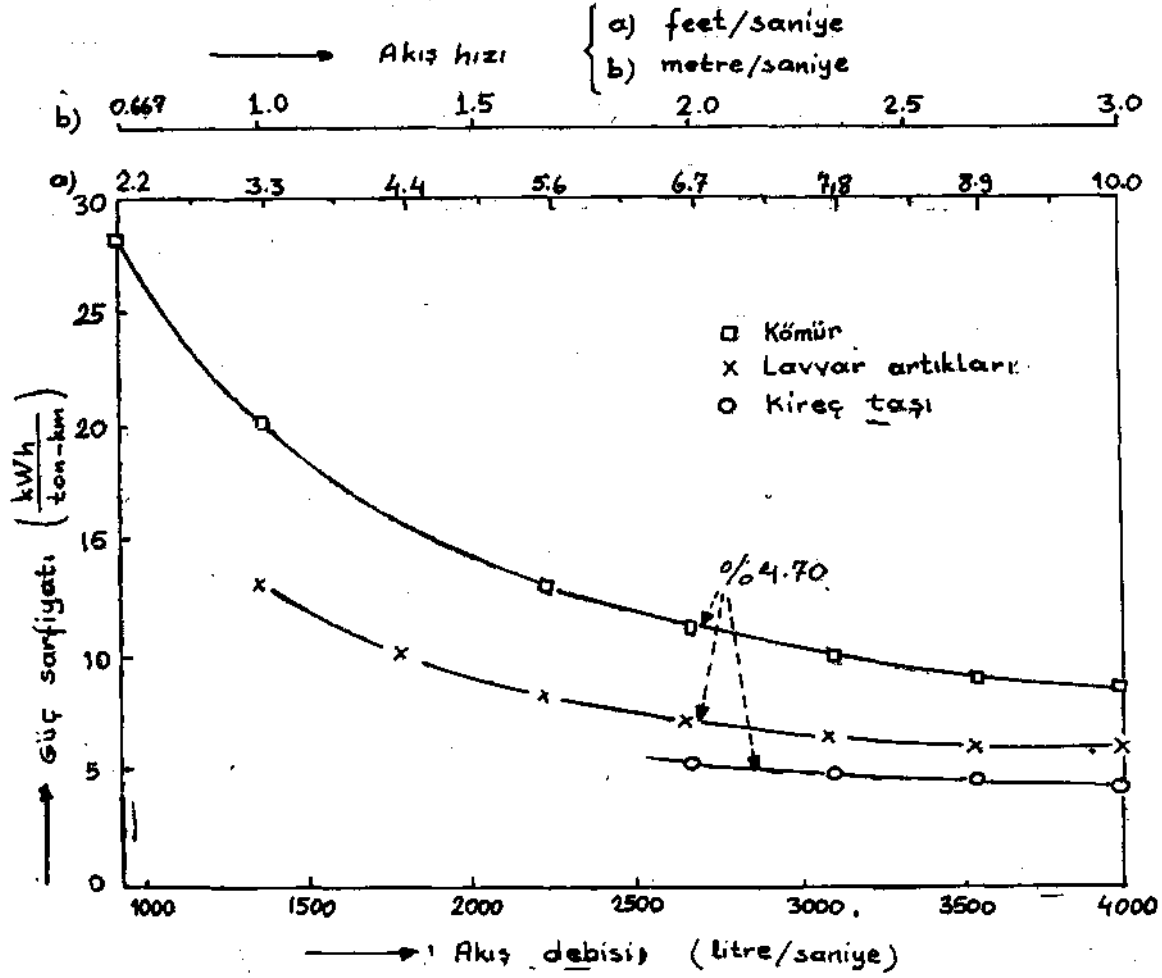
olmaktadır. Burada ekonomik bir analize girilmeyeceği için, «amortisman, risk unsuru, vs.» gibi husulardan doğacak diğer masraflardan bir kısmının yukarıdaki grupların içinde var sayıldığı, bir kısmının da gene bu masraf gruplarının yanında önemsiz kaldığı kabul edilmektedir.

Biraz önce de temas edildiği gibi, nakliyatın tekniği ile ilgili her parametre, esasında ekonomiye tesis eden bir faktördür. Her tesisin kendisine has lokal şartları bir genelleştirmeye imkân vermemekle beraber, bazı müşterek esasların varlığı ve parametrelerin ekonomik etkilerinin bazı belli yönlerde dağılımlar gösterdiği de bir gerçektir.

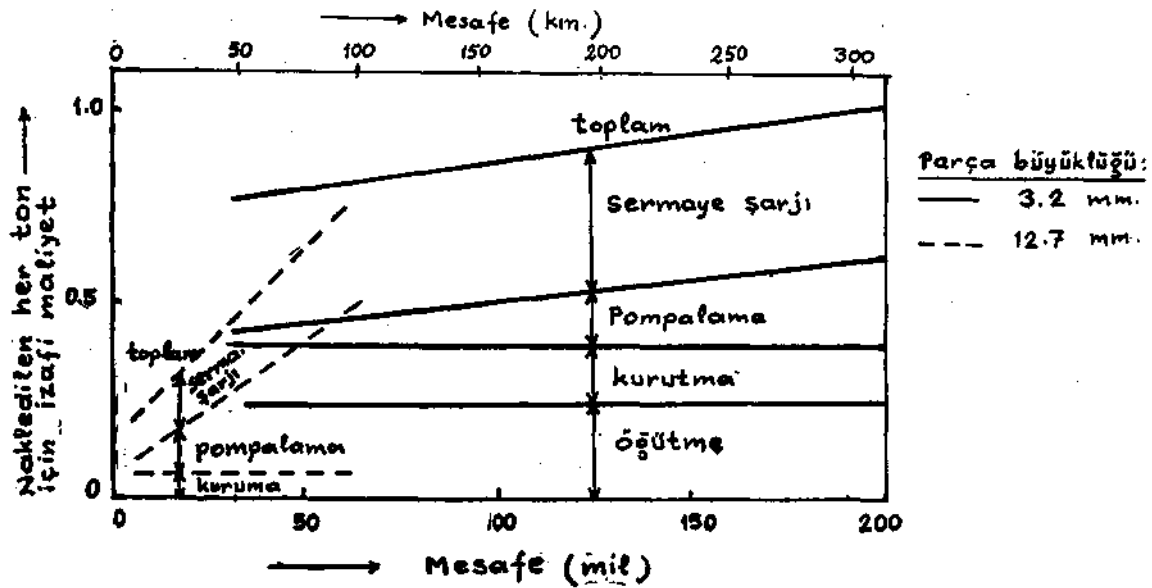


Şekil 11
Akış Hızı, Özgül Ağırlık ve Konsantrasyonun Bir Fonksiyonu olarak Güç Sarfiyatı

Şekil 13, boru hattı ile kömür nakledilmesi halinde masraf dağılımlarını göstermektedir. Burada, kısa mesafelere katı maddeyi büyük parçalı olarak nakletmenin ekonomik olduğu, ancak tesis uzunluğu 50 - 60 km. yi geçer geçmez, yatırım ve pompalama masraflarının çok sür'atle arttığı ve dolayısıyla parça ebadını küçültmenin zarureti halinde geldiği ortaya çıkmaktadır. Bir diğer husus da, öğütme ve kurutma masraflarının hemen hemen sabit, buna karşılık, pompalama ve sermaye şarjının ise nakil mesafesi ile birlikte artması keyfiyettir.



Şekil 12
Konsantrasyon Sabit İken, Akış Hızı ve Özgül
Ağırlığa Bağlı Olarak Güç Sarfiyatı



Şekil 13
Boru hattı İle Kömür Nakledilmesinde Masraf
Dağılımı

Görüldüğü gibi, parça büyüklüğü masraflar Φ zinde çok etkili bir rol oynamaktadır. Ancak bazı araştırmacılar arasında bu hususta ayrılmalar vardır. Meselâ WORSTER, boru hattında meydana gelen sürtünme kayıplarının parça büyüklüğüne bağlı olduğunu belirtirken, DURAND, 2 mm. yi geçtikten sonra parça büyüklüğünün artık basınç düşüşü üzerinde hiç bir tesiri olmadığını iddia etmiştir. Bu, sürpriz bir neticedir.

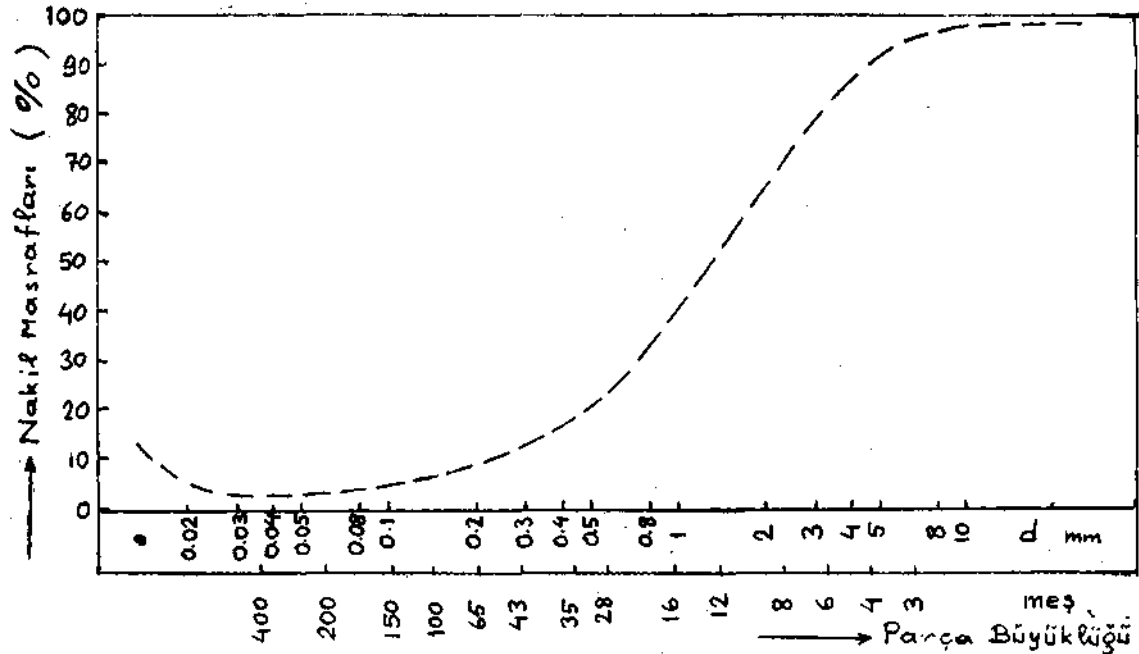
Şekil 14'de, parça büyüklüğünün nakil masrafı üzerindeki etkisi görülmektedir (13). Bu grafik, bir bakıma DURAND'ın iddiasını doğrular gibi bir intiba bırakmaktadır. Zira nakil masrafları, 2 mm. den değilse bile, 4-5 mm. den sonra hemen hemen sabitleşmektedir. Parça büyüklüğünün 0.3-0,4 mm. arasında olduğu A bölgesinde masraf minimum iken, 0,3 - 4,0 mm. arasındaki B bölgesinde masraflar hızla artmakta, 4,0 mm. den sonraki C bölgesinde ise hemen hemen sabitleşmektedir.

Bu grafiğe göre, parça büyüklüğünün 0,5-5 mm. arasında olmasının, ekonomik bakımdan mahzurlu telâkki edilmesi gerekir.

3.2. Masraf Dağılışı :

Aşağıdaki tablo, boru hattı ile 300 km. mesafeye senede 3 milyon ton kömür nakledilmesi halinde karşılaşılabilecek masrafları göstermektedir (4). Tablodan, bir ton kömür nakil maliyetinin 1,143 dolar olduğu ve bu masrafın % 80'inden fazlasının da, piyasa dalgalanmaları ve enflasyonist etkilerden uzak bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu maliyete kuruma masraflarının da dahil olduğunu ilâve etmek gerekir.

Hidrolik yolla katı naklinde masraf dağılımının en tipik örneklerinden biri «Cadiz-Cleveland Hattı» na ait olanıdır. Bu hat, ilk büyük hidrolik nakil tesisi olduğu için gerek teknik gerekse ekonomik bakımdan uzun ve titiz incelemelere konu olmuştur. Şekil 15 bu tesisteki masraf grupları esas alınarak yapılan analiz neticelerini göstermektedir. Her ne kadar grafiğin esprisini bozmamak için para birimleri yabancı üniteler olarak bırakılmışsa da, bunun büyük bir mahzur teşkil etmesi gerekir. Zira asıl olan, kesin bir rakam eldesinden ziyade masraf gruplarının birbirlerine göre durumlarının anlaşılmasıdır.



Boru Hattı ile Yapılan Nakliyat, Toplam Nakil Masraflarının, parça Büyüklüğünün Fonksiyonu olarak Değişimi.

Şekil 14
Parça Büyüklüğünün Nakil Masrafı Üzerindeki Etkisi

TABLO i
MALİYET TABLOSU

300 km. mesafeye Senede 3.000.000 ton Kömür
Nakleden Bir «Hidrolik Boru Nakil Hattı» nın Maliyet
Detay Tablosu

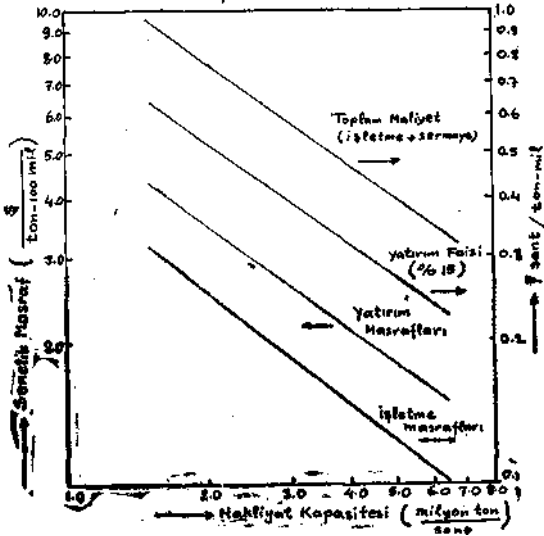
1° — Yatırım Masrafları Dökümü

Kısım	Masraf (\$)	Özellikler
Boru	4.100.000.—	Vasat arazi uzun nehir geçme veya büyük dağ gibi özel problemler yok.
Tesis kurma, ihtira hakkı, haberleşme	5.300.000.—	
Pompa İstasyonu	4.600.000.—	Bütün İstasyonlar otomatik. Beş İstasyon, toplam güç : 1100 B.G. Her İstasyonda iki çalışan pompa, bir yedek
Tank tesisleri	300.000.—	Deşarj terminalinde 2 gün kapasiteli
Toplam :	14.300.000.—	
Tesis süresince faiz ve beklenmedik masraf.	1.200.000.—	
	15.500.000.—	
		$15.500.000 \times 0,15$
<p>% 15 ile bu yatırım miktarının ton başına şarjı : $\frac{15.500.000 \times 0,15}{3.000.000} = 0,775$ /ton</p>		

2° — İşletme Masrafları Dökümü

Kısım	Masraf (¢/ton)	Özellikler
İşletme işçiliği	1,7	Toplam 8 işçi; fazla mesai dahil
Bakım işçiliği	2,1	Toplam 10 işçi; fazla mesai dahil
Yedek parça	5,0	Pompa parçası : 20/ton; gerisi İstasyon ve boru hattının genel bakım malzemesi
Enerji	17,0	1 kWh = 1,1 ¢ esasına göre.
Kimyevi madde	7,0	Korozyonu önlemek için.
Teftiş, idare, haberleşme, genel fazla mesai, vs.	4,0	4 analizci, başmüfettiş, makinist ve mühendis dahil.
Toplam:	36,8	

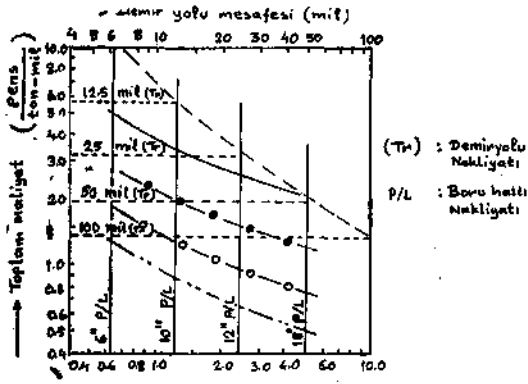
Toplam Maliyet: $77,5 + 36,8 = 1,143$ \$/ton



Şekil 15
Hidrolik yolla Kömür Naklinde Masrafların Dağılışı

Bu grafikte de gene, en düşük masrafın işletme masrafları olduğu ve yılda nakledilen kömür miktarı arttıkça bütün masraf gruplarının nasıl büyük bir hızla azaldığı görülmektedir. Nakil kapasitesinin masraflar üzerindeki etkisi dikkati çekicidir, zira şekildeki bütün doğruların eğimleri hemen hemen aynıdır.

Gene Okio Hattından elde edilen bilgiler esas alınarak demiryolu ve boru hattı ile kömür nakledilmesi halindeki masrafların bir mukayesesi yapılmıştır (Şekil 16). Görüldüğü gibi demiryolu ile yapılan nakliyat mesafe arttıkça ton - km. (*) ba-



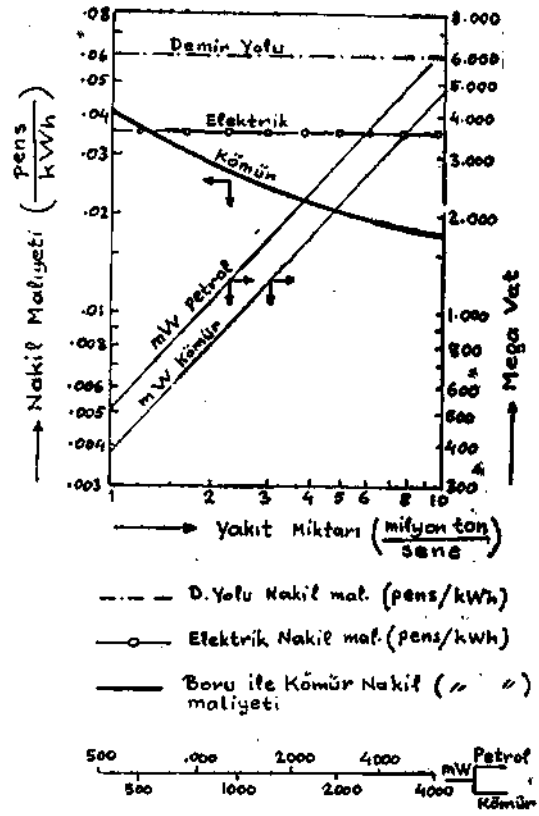
- Mil bazına göre Demiryolu Nakliyatı Maliyeti
- Boru Hattı - 12,5 mil
- Boru Hattı - 25 mil
- Boru Hattı - 50 mil
- Boru Hattı - 100 mil

Şekil 16
Hidrolik yolla Yapılan Kömür Naklinde «Ton-mil» Başına Düşen Masraflar

(*) 1 mil = 1.6 km.

sına düşen masraflar azaltılmakta, ancak bu durum nakledilen kömür miktarı ile değişmemektedir. Boru hattı ile yapılan nakliyat ise, masraflar gene mesafe artışı ile azalmakta, bunun yanısıra senede nakledilen kömür miktarı da maliyet üzerinde azaltıcı yönde etki yapmaktadır. Grafikte belirtilen bir diğer nokta da, kapasite ile boru çapı arasındaki bağıntıdır: Buna göre meselâ 2.5 milyon ton/sene kapasite'de çalışacak bir tesiste boru çapının asgari 18 inç (457 mm) olması gerekmektedir.

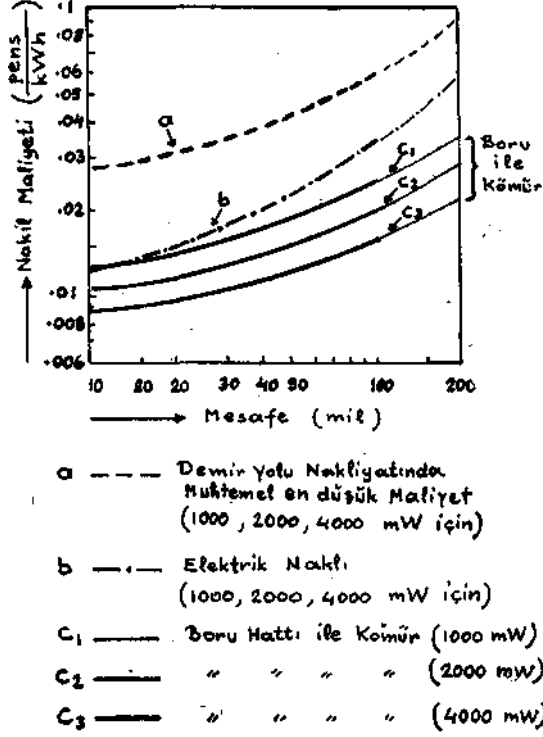
Taşınan kömürü birim ağırlık ünitesi olarak almaktansa ana eşdeğer olan enerji ünitesi şeklinde düşünmek, biraz önce yapılan mukayesesi daha anlamlı bir hale getirecektir. Böyle ilginç bir karşılaştırma Şekil 17 ve 18'de verilmiş bulunmaktadır. Şekil 17'de, nakledilecek kömür miktarı



Şekil 17
160 Km. Mesafeye Nakledilecek Enerjiler İçin Mukayeseli Nakil Masrafları

yılda 12 milyon tonu geçer geçmez, boru hattı ile kömür nakletmenin elektrik enerjisi nakletmekten daha ucuza geldiği görülmektedir. Şekil 18'de ise, gene mukayeseli olarak enerji masrafları, bu defa taşıma mesafesinin fonksiyonu olarak verilmiştir. Mesafe arttıkça boru hattı ile enerji taşımının (yani kömür naklinin) demiryolu ve elektrik şe-

bekelerine üstünlüğü açık olarak ortaya çıkmaktadır. Keza yılda taşınan miktar arttıkça, kilovat-saat başına düşen masraf da o nispete azalmaktadır.



Sakıl 18

Çeşitli Basıtlar İle Yapılan Enerji Naklinde Tasıma Mesafesinin Fonksiyonu Olarak Masrafların Değişimi

3.3 Süzme ve Kurutma Masrafları

Şekli 19'da, kömürün boru hattına verilmeden önceki hazırlama tesislerine ait basit bir şema görülmektedir (14). Burada karışım, boru hattına verilmeden önce hazırlanmaktadır. Yalnızca suyun pompalandığı ve inceltilmiş katının boru hattına ayrıca verilmesi durumu da, bir alternatif olarak mevcuttur.

Şekil 20'de ise, hat sonunda katıyı, sıvıdan ayırmak için, gerekli tesislerin gene çok basit bir şeması verilmiştir. Hidrolik nakliyatın en büyük masraf kapılarından biri bu ayırma safhasında meydana gelmektedir. Ayırma masraflarını azaltmak için, son senelerde kömürü kurutmadan, suyu ile birlikte yakan kazanların yapımına doğru gidilmiştir. Yapılan hesaplamalar, 1 mm. lik parçalar halindeki kömürün 50 km. lik mesafeye ve senede 3,7 milyon ton olarak nakledilmesi halinde —öğütme, karıştırma ve tankaj masrafları da dahil— nakil maliyetinin ton başına 1.35 dolar tuttuğunu göstermiştir. Eğer karışımı % 65'lik ağırlık konsantrasyonu

ile doğrudan doğruya yakmak mümkün olsa, bu maliyet 1.35 dolardan, ton başına 0,45 dolara düşecek, yani nakil maliyetinde 2/3 nisbetinde bir tasarrufa gidilebilecektir (15).

Şekil 22'de, karşımdaki suyun filtrasyon veya santrifüj yol ile % 17-20'ye kadar düşürülüp kömürün pulverize halde yakıt olarak kullanıldığı; Şekil 23'de ise, kömürü % 68'lik konsantrasyon halinde doğrudan doğruya yakabilen bir siklon kazan tesisinin bulunduğu sistemlere ait şemalar görülmektedir. Bu sonucunun getireceği ekonomik avantajlar sayısızdır.

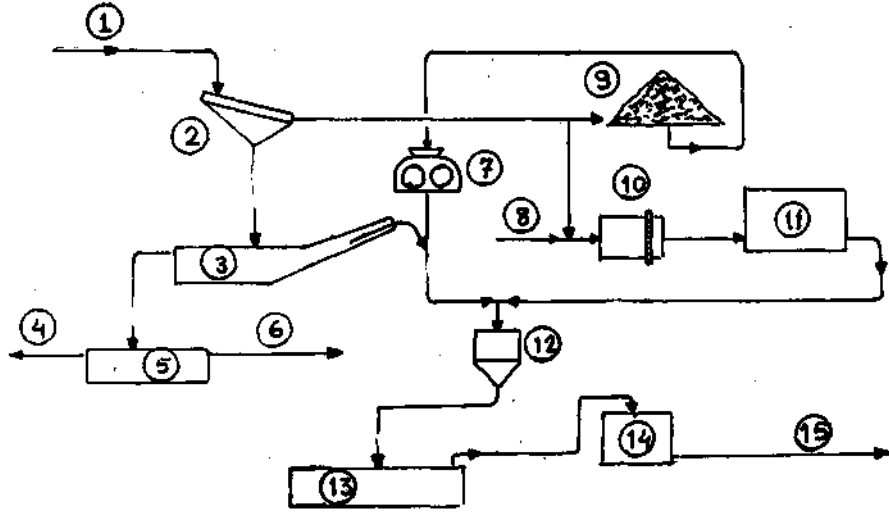
3.4. Demir Cevheri Nakli

Bir projeden önce yatırım masraflarının mesafe veya tonaj ile artış durumunu bilmek en önemli hususlardan biridir. Şekil 24, yılda taşınacak demir cevheri miktarına bağlı olarak, ton-km. başına düşen yatırım masrafları hakkında bir fikir vermektedir (13). Şekil 22 (a)'da ton-mif başına amortisman masrafları, (b)'de ise her ton-mil'e isabet eden kilovat saat olarak enerji masrafı, gene yıllık nakil miktarına bağlı bir şekilde verilmiştir. Bu eğrilerden, tesisin ekonomik çalışması için kapasitelerin büyük tutulması gerektiği ve meselâ yılda 3 milyon ton cevher yerine 10 milyon ton cevher nakletmenin ekonomik bakımdan ne ölçüde bir avantaj sağliyabileceği açıkça anlaşılmaktadır.

Minas Gérais Hattı

Dünyanın en büyük demir madenlerinden biri, Rio de Janerlo'ya 400 km. mesafede ve 1150 m. yükseklikteki Minas Gérais havzasındadır (4). Cevher hematittir ve öylesine ufalanmaktadır ki, ancak pelet halinde kullanılmaya müsaittir. Bu madeni en yakın limana (400 km.) senede 4 milyon ton kapasite ile ve en ucuz şekilde nakletme problemi incelenmiştir. Mevcut demiryolu şebekesi çok yüklü olduğu için hidrolik nakil şekli sadece ekonomik değil, fakat hemen hemen tek çözüm yolu olarak kalmıştır. Bu hat için yapılan incelemelerden bazılarının neticesini vermek faydalı olacaktır.

Hematitin özgül ağırlığı 4.5 olduğu için, yapılan deneyler, konsantrasyonun % 30'dan fazla olmaması gerektiğini ortaya koymuştur. Şekil 26'da da görüldüğü gibi, karışım vizkozitesi, konsantrasyon % 30'u geçer geçmez hızla artmaktadır. Hızı, müstakil değişken olarak almak suretiyle % 15 ve % 25'lik iki konsantrasyon ile yapılan deneyler, bilhassa 2-2.2 m/s.'lik hız bölgesinde, sarfedilen güç bakımından büyük bir fark bulunmadığını ortaya koymuştur (Şekil 27). Grafik, pompa olmasa bile, 1150 m. lik kot farkından dolayı 1.0-1.2 m/s. civarında bir hız elde edilebileceğini göstermekte ise de, bu değer kritik hızın altında olduğu için



- | | | | |
|---|--------------------------|---|----------------------------|
| ① | Barından geliş | ⑨ | Depolama |
| ② | Elek | ⑩ | Kırıcı (öğütücü) |
| ③ | Tank | ⑪ | İnce kömür deposu |
| ④ | Su | ⑫ | Karıştırıcı |
| ⑤ | Çok ince kömür birikmesi | ⑬ | Depo (1 haftalık kapasite) |
| ⑥ | İnce kömür ve su | ⑭ | Karışım tankı |
| ⑦ | Kırıcı | ⑮ | Boru hattına |
| ⑧ | İnce kömür ve su | | |

Şekil 19
Hat Başlangıcında « Kömür+Su » Karışımını
Hazırlama Tesislerinin Şeması

her halükârda pompaya ihtiyaç olmaktadır. Tesiste, toplam 6600 B.G. takatinde 5 pompa istasyonu kurulması öngörülmektedir.

4. BAZI TİPİK BORU HATLARI

4.1. «Cadiz-Cleveland» Hattı (Ohio Hattı)

Daha önce belirtilen öneminden dolayı, bu tesis hakkında bazı kısa bilgiler vermek faydalı olacaktır. Esasen makale içinde çeşitli vesilelerle bu boru hattından yer yer bahsedilmiş bulunmaktadır.

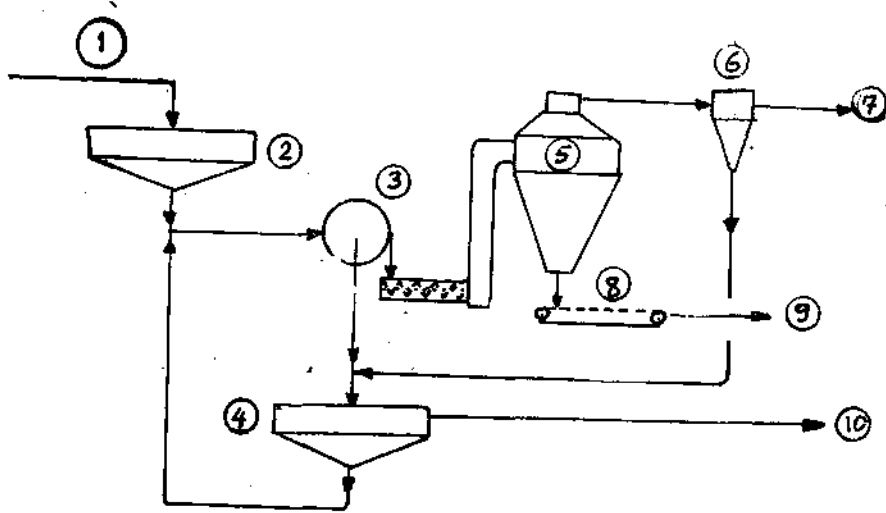
Hat, Birleşik Devletlerde Cadiz ile Cleveland arasında 174 km. uzunluğunda tesis edilmiştir. İç çapları 254 mm. olan borular, dona karşı korunmak üzere toprağın 1.3-1.4 m. altına gömülmüş, ayrıca korozyona karşı iç ve dış kaplanmış, Akış hızının maksimum ve minimum değerleri 1.98 ve

1.37 m/s. dir. Senede, aralıksız 354 gün çalışmak suretiyle, % 97'lik bir faydalanma derecesi elde edilmiştir, önceleri senede 1.06 milyon ton kömür nakledilirken (125 ton/saat), konsantrasyon yüzdesinin % 50'den % 60'a çıkarılmasıyla kapasite daha da artırılmıştır. Hızın maksimum değeri kullanıldığında kapasitenin 216 ton/saat'e (1.83 milyon ton /sene) çıkarılabileceği hesaplanmıştır.

Boru hattındaki maksimum meyil 9-10° olmuştur. Et kalınlığı 12-18 mm. arasında değişmekte olan borular 3000 kg/cm², mukavemetinde normal çelikten yapılmışlardır.

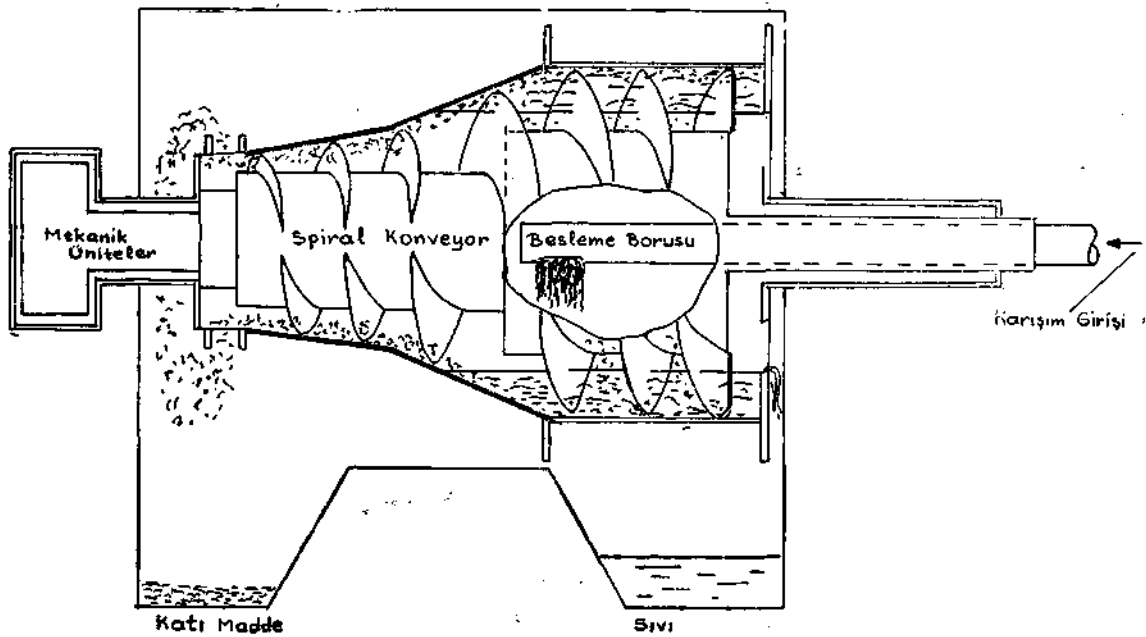
önceleri azami parça büyüklüğü 1.2 mm. iken, konsantrasyonun % 60'a çıkarılması ile, tesiste gerekli değişiklikler de yapılmak suretiyle parça büyüklüğü üst sınırı 4 mm ye çıkarılmıştır.

İç korozyona karşı boruların korunması hususunda, kaplamaya ilâveten, korozyonu azaltıcı kimyevi maddeler de kullanılmıştır (16). Şekil 29,

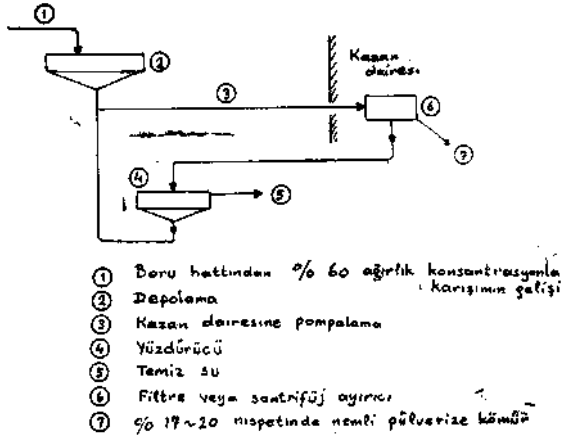


- | | | | |
|---|--|---|-------------------|
| ① | % 60 lik ađ. konsantrasyonu ile boru hattından gelis | ⑦ | Atmosfere veris |
| ② | Depolama | ⑧ | Bant |
| ③ | Filtre | ⑨ | Kuru kömür depoya |
| ④ | Yüzdürücü | ⑩ | Temiz su |
| ⑤ | Kurutucu | | |
| ⑥ | Toplayıcı (yağ halde) | | |

Şekli 20
Hat Sonunda Katı Maddeyi Sıvıdan Ayırma Tesisi Şeması



Şekli 21
Bir Spiral Vastayla Kömürün Ayrılması



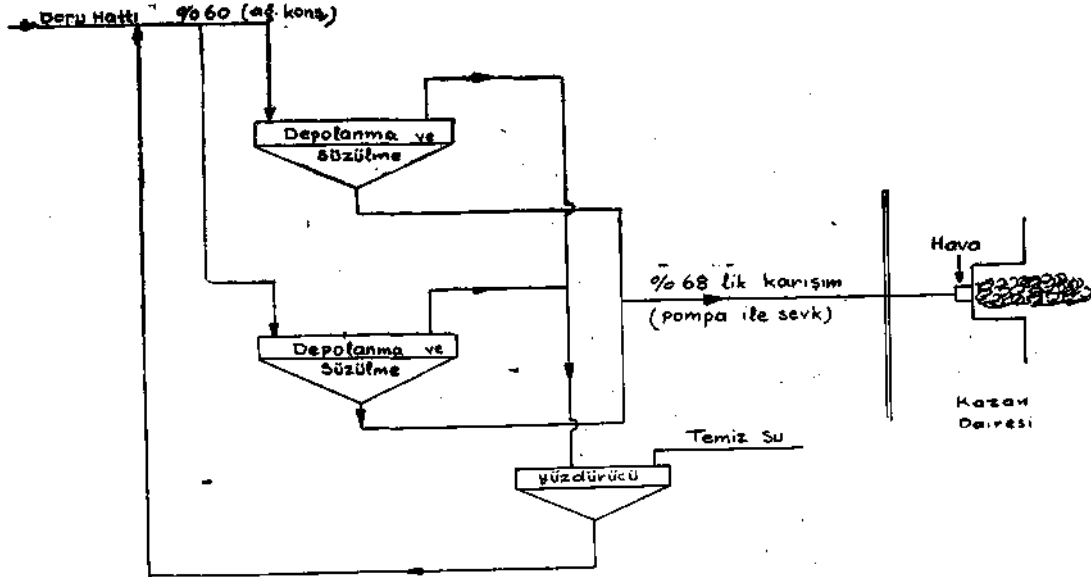
Şekil 22
 Kömürün Filte veya Santrifüj Yolla Ayrılıp Pulverize Yakıt Olarak Kullanılması (Boru Hattı Sonu Akım Şeması)

Cr^{+6} ihtiva eden krom bileşenlerinin boru hattına verilmiş miktarları ve durumlarını göstermektedir. Gerek şekilden, gerekse Tablo 3 deki değer-

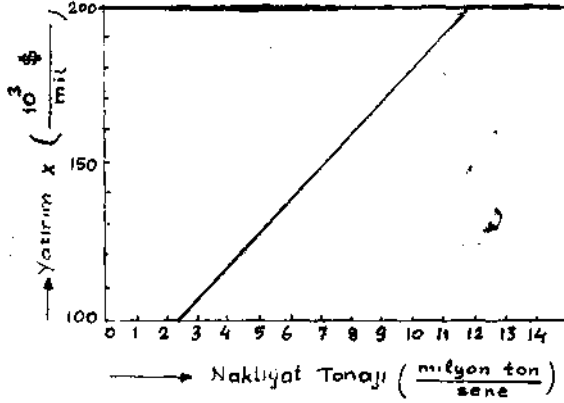
lerden, üç ayrı istasyondan Cr^{+6} verilmesinin gereksiz olduğu, keza Cr^{+6} 'nın lüzumundan fazla kullanılması da gene büyük bir fayda getirmediği anlaşılmaktadır. Ayrıca Cr^{+6} kullanılmaması halinde borudaki aşınmanın 2.89 mm. olması ve 14 ppm'lik bir Cr^{+6} ilâvesi ile, bu aşınma miktarınının 0.020 mm. ye düşürülmesi, korozyonlar mücadelede kimyevi maddenin önemini göstermesi bakımından dikkati çekicidir (Tablo 3 (b)'ye bakınız).

4.2. «Ohdate-Noshiro» Hattı

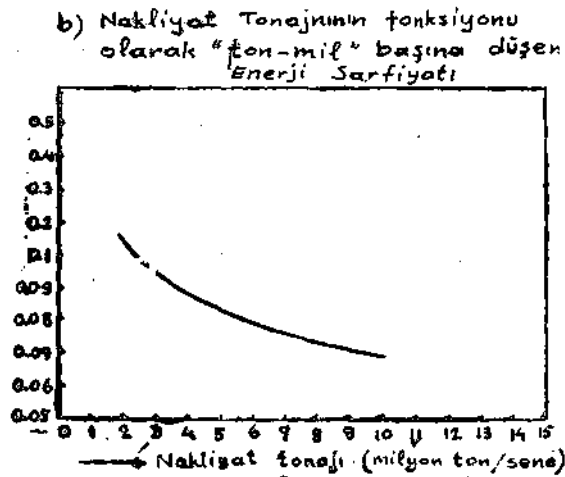
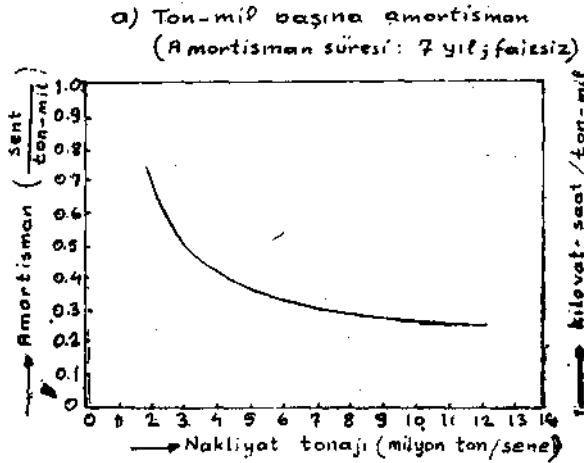
Bu tesis, dünyadaki boru hatlarının en büyük ve en yenilerinden biridir (13). Japonya'nın Hondo Adasında, Ohdate Köyü civarında 60 milyon tonluk «Bakır - kurşun - çinko» rezervleri vardır, istihsal ayda 150 bin ton, hazırlama işleminden sonra meydana gelen lavwar artığı ise, gene ayda 48 bin tondur. Bu artıkların % 90 - 95'i, 400 meş'in altında, yani çok incedir. Lavardan %5-10 ağırlık konsantrasyonlu bir karışım halinde saate 700 m³'lük bir debi ile çıkan bu artıklar bir havuzda toplanarak kalınlaştırmaktadır. Şimdilik senede 1 milyon ton civarında olmakla beraber, istikbalde 1.3 milyon tonu bulacağı tahmin edilen bu miktarda artığın yığılması için boş



Şekil 23
 Kömürün % 68'lik Karışım Halinde, Bir Siklon Kazanda Doğrudan Doğruya Yakılması (Boru Hattı Sonu Akım Şeması)



Şekil 24
Senelik Nakliyat Tonajına Bağlı Olarak Yatırım
Masrafları (Hidrolik Yol ile Demir Cevheri Nakil)



Şekil 25
Ton-Mil Başına Düşen Amortisman ve Enerji
Miktarları (Hidrolik Yol ile Demir Cevheri Nakil)

arazi bulmak, işletmenin en büyük problemlerinden biri olmuştur. Neticede bunların hidrolik yol ile 71 km. uzaklıktaki Noshiro Sahillerine taşınmasına karar verilmiştir. Burada artıklar, derinliği 10-15 m. arasında değişen 4 km. İlk bir sahil şeridi boyunca denize dökülecek ve kazanılan topraklar da ziraatte kullanılacaktır. 1966'da projesi yapılması kararlaştırılan tesis 1968 sonlarında işletmeye açılmıştır. Bu hatta ait bazı bilgiler aşağıdadır:

Yıllık Nakil Kapasitesi 500 bin ton artık madde (kuru ağırlık)

Hattın iki ucu arasındaki kot farkı : 110 metre

Boru dış çapı : 318.5 mm.

Karışımın akış debisi : 350 mVsaat

Konsantrasyon : % 18.8

Ayda nakledilen katı madde : 53600 ton
(% 18.8'lik konsantrasyona müteakib)

Pompaj : Sadece başlangıç istasyonunda ve pistonlu pompalarla yapılmaktadır.

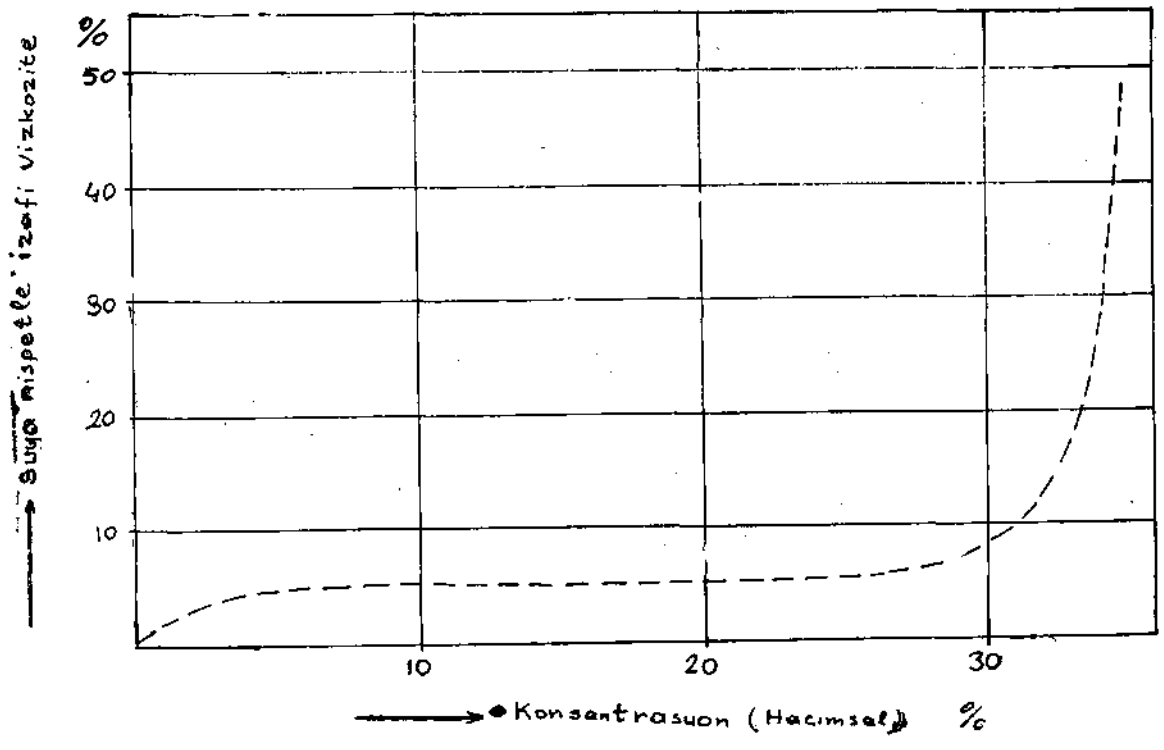
4.3. Diğer Boru Hatları

Dünyada mevcut, İrili ufaklı pek çok boru hattı içinde, 1964 İstatistiklerine göre faaliyet halinde olanlarından 8-9 tanesi aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bu hatlara yeni yeni tesislerin ilâve edildiğine şüphe yoktur.

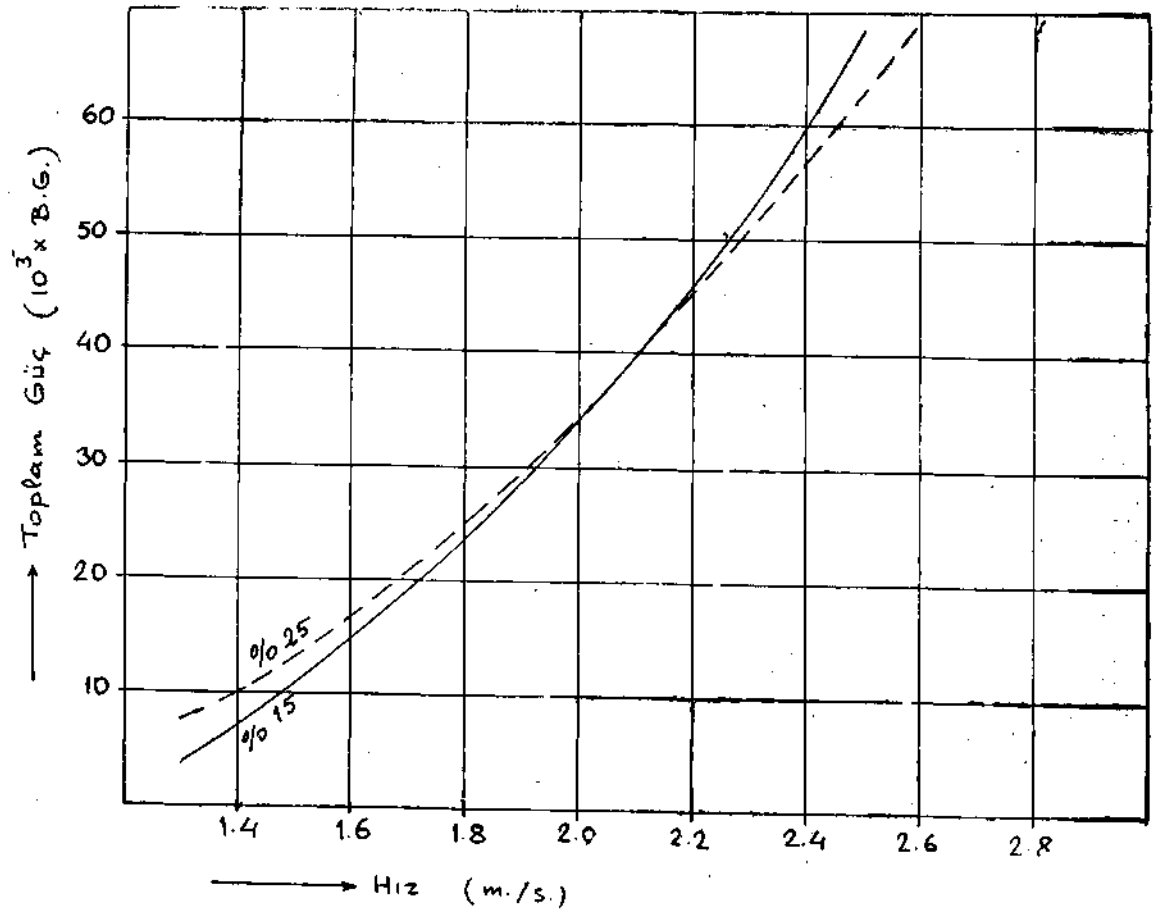
Birleşik Amerika'da petrol taşıyan boru şebekelerine benzer tarzda, çok geniş ölçüde bir de kömür nakil şebekesi kurulması düşünülmüştür (12). Herbiri yılda 8.2 milyon ton kömürü % 57'lik bir karışım halinde taşıyacak üç boru hattına ait detay, Tablo 5'de görülmektedir. Her üç tesiste de başlangıç basıncının 77 kg/cm², saatteki akış debisinin 1482 m³ ve ortalama akış hızının da 1.4 m/s. olması plânlanmıştır. Birinci şebeke, price (Utah) yakınındaki 4 ocaktan kömürü toplayıp 1500 km. ilk bir hat boyunca Los Angiese ve San Diego arasındaki 7 termik santrale dağıtacaktır. İkincisi Güney İllionis'deki 4 ocaktan alacağı kömürü Şikago yakınındaki 7 termik santrale, üçüncü şebeke de Batı Wırglnia'daki 4 ocaktan toplayacağı kömürleri Philadelphia ve New-York arasındaki 5 santrale taşıyıp dağıtacaktır.

Gene U.SA'da daha da cesaretli bir proje üzerinde durulmuştur. Bu da, halen çalışmakta olan petrol boru hatları içinde, petrol ile birlikte kömürü de nakletmektedir. Tablo 6'da, böyle bir projenin gerçekleşmesi halinde meydana gelecek ilâve «basınç kayıpları» ile «güç ihtiyacı ve pompalama masrafları» görülmektedir (12).

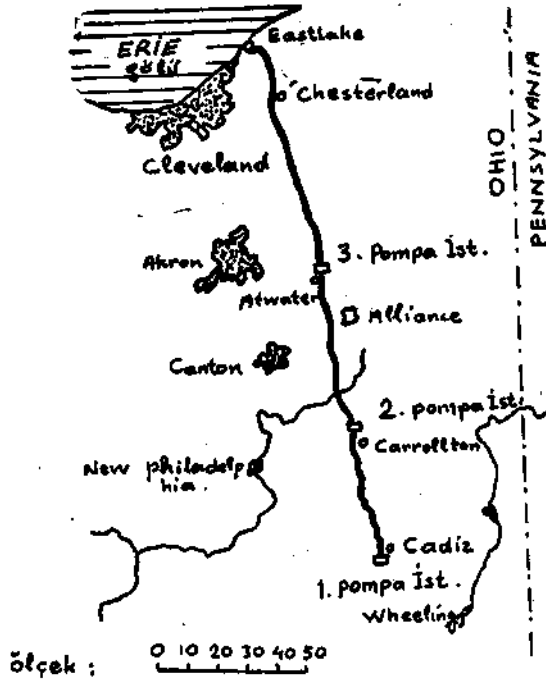
Bunlardan başka Kanada'da biri 800, diğeri de 1280 km. uzunluğunda iki tesis planlanmaktadır



Şekil 26
İzafi Vizkozitenin Konsantrasyonla Değişimi (Hematit Cevheri)



Şekil 27
Toplam gücün Akış Hızının Fonksiyonu Olarak Değişimi (Hidrolik Yol ile Hematit Cevheri NaMO)



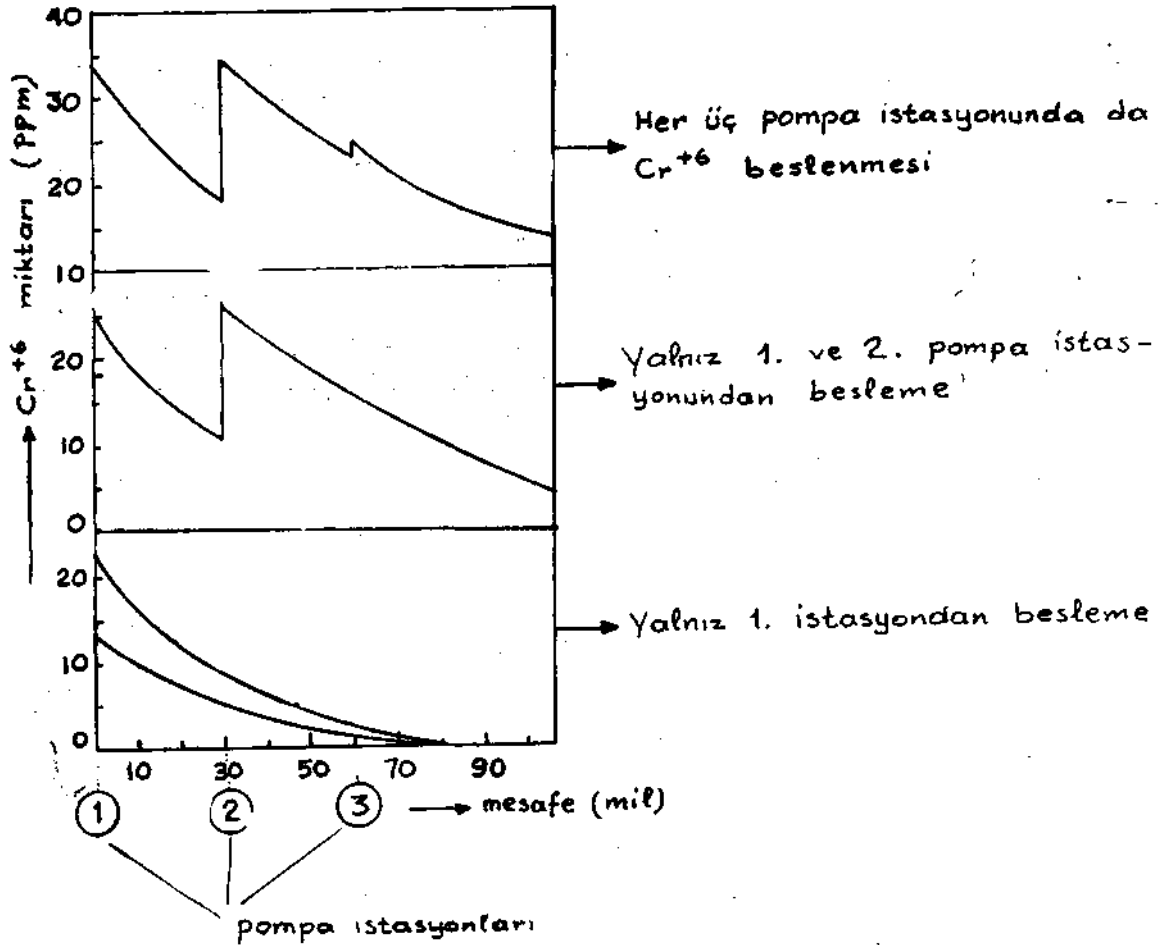
Şekil 28
Cadiz - Cleveland Boru Hattı (U.S.A.)

TABLO 3
a) Ohio Hattında, mm olarak Senelik Boru Aşınması

	(Dizayn)	Ö l ç ü l e n	
		14 ppm	25 ppm
1. İstasyon	0.44	0.02	0.04
2. İstasyon	0.31	0.04	0.03
3. İstasyon	0.28	0.09	0.07
Hat Sonu	0.21	0.09	0.08

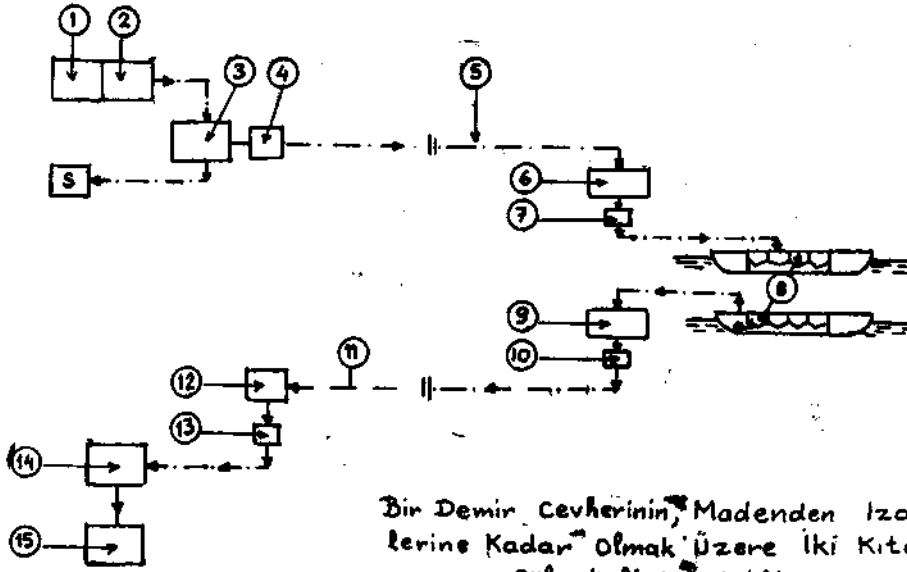
b) Çeşitli Miktarlarda Cr^{+6} Beslenmesi Halinde, Ohio Hattında Senelik Boru Aşınması (mm. olarak)

İstasyonlar	1	2	3	Hat sonu
Yüksek besleme No. 1 de 25 ppm	0.038	0.031	0.069	0.081
Mevcut operas. No. 1 de 14 ppm	0.020	0.036	0.094	0.092
Kimyevi maddesiz.	2.89	—	—	—



Şekil 29

Korozyona Karşı Cr 'nin Kullanış Şoku ve Miktarları (Ohio - Cleveland Hattı)



Bir Demir Cevherinin, Madenden İzabe Tesislerine Kadar Olmak Üzere İki Kıta Arasında pulp halinde Nakli.

- | | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| ① Maden Ocağı | ⑨ Liman yakınında Stok Yeri |
| ② Konsantrasyon Tesisi | ⑩ Pompa İstasyonu |
| ③ Stoklama | ⑪ Boru ile İzabahaneye Nakil |
| ④ Pompa İstasyonu | ⑫ Terminal Stok Yeri |
| ⑤ Boru ile Denize Nakil | ⑬ Süzme ve kurutma Tesisi |
| ⑥ Stoklama | ⑭ İzabehane için Depolama ve Hazırlık |
| ⑦ Yükleme Tesisi (Özel) | ⑮ İzabehane Tesisi |
| ⑧ Özel yük Gemileri | |

TABLO 4
Dünyada Mevcut Hidrolik Nakil Hatlarından Bazıları (2;19)
(1964'deki Durum)

Tesisin Adı ve Bulunduğu Yer	Katı Madde cinsi	Kapasite (ton/saat)	Tesis Uzunluğu (Km.)	Parça Büyüklüğü	Boru Çapı (mm)	Konsantrasyon (%)	Karışımın Akış Hızı (m/s)
Lorraine Hattı (Fransa)	Kömür	250	8.8	3.2 - 0 mm	380	25 - 30	2.15 - 3.0
Norovolskaya Ha (Rusya)	"	220	61	0.8 - 0 mm	305	50	1.5
Merlenbach (Rusya)	"	132	9	—	375	33	—
Dauphine Hattı (Rusya)	"	20	1.76	0.24 meş	—	18.5	—
INCO Hattı (Kanada)	Bakır	120	12	—	210	40	1.8
El Salvador (Şili)	"	—	21	—	—	40	6.5
Moa Bay (Küba)	"	—	—	—	210	50	1.5
Trinidad	Çimento ham maddesi	50	7	30 mikron	203	48	1.2
Florida (U.S.A.)	Fosfat	300	10	—	400	40	1.4
Gilsonit (U.S.A.)	Toprak	30	115	—	150	40	1.5

TABLO 5
U.S.A.'da senede 8.2 Milyon Ton Kömür Nakledecek Őekliide Pl nlanan

Boru Hattı	Utah-Los Angeles - San Diego			W. Virginia - Philadelphia - New York			S. Illinois - Chicago		
	Milyon	DM	%	Milyon	DM	%	Milyon	DM	%
Masraf Grupları									
Kurşun Hazırlama Tesisleri	61.60		9.4	86.00		21.0	61.60		21.5
Hat Sonu Boru Tesisleri	12.80						11.64		
Ana Boru Hattı	388.84								
Toplama ve Dağıtma Kolları	187.16		72.5	244.68		59.8	150.36		54.5
Pompalar	79.32		10.1	31.36		7.7	28.48		8.4
Hat Başı Depolama	7.20		0.9				7.20		2.1
Hat Sonu Depolama	11.20		1.4	13.80		3.4	14.00		4.1
İnşaat İşleri	11.00		1.4	10.72		2.6	10.40		3.1
İşletme Sermayesi	33.88		4.3	22.68		5.5	21.44		6.3
Toplam :	788.—		100	409.24		100	340.—		100
Tesis Uzunluğu (km)	1560			720			550		
Spesifik Yatırım DM									
($\frac{\text{---}}{\text{Ton/Sene - Km}}$)	0.062			0.069			0.075		

b) İşletme Masrafları

	DM/ton	%	%	DM/ton	%	%	DM/ton	%
Pompa ve süspansiyon tesisi :	4.54	21.1	100.0	3.18	24.1	3.17	28.9	100.0
Enerji			48.2					36.1
Malzeme			12.3					9.9
İşçilik			4.9					6.5
Nezaret			1.0					1.3
Bakım :								
İşçilik			6.0					8.2
Nezaret			1.2					1.6
Malzeme			3.0					4.1
Diğer personel giderleri			2.4					3.3
Mekanik aksam			2.1					2.8
İdari Masraflar			18.9					26.2
Süspansiyonla İlgil diğer giderler	1.59	7.4		1.59	12.1	1.59	14.5	
Nem İle ilgili işlemler	0.53	2.5		0.44	3.3	0.44	4.0	
Faiz ve amortisman	14.86	69.0		7.98	60.5	5.78	52.6	
Toplam Masraf	21.52	100.0		13.19	100.0	10.98	100.0	
Toplam Boru Hattı Uzunluğu			*-, 15 60 km			-, 720 km		>^550 km.
Toplam Spesifik DM masraf ($\frac{\text{---}}{\text{ton-km}}$)			noo			0.018		0.020

TABLO 6

Mevcut Petrol Boru Şebekesinde, 600 - 700 km. Mesafeye Petrol İçinde Kömür Pompalanması Halinde Meydana Gelmesi Muthemel Basınç Düşüşü ve İlâve Masraflar

Konsantrasyon (Kömür) ağırlık %	Vizkozite cP	Boru Çapı mm	Akış mVh	Debisi m ³ /h	Basınç Düşüşü		Lüzumlu ilâve Güç B.G.	ilâve pompalama masrafı DM/ton kömür
					Petrol kg/cm ² km.	Petrol İçinde kömür kg/cm ² km.		
35	78	889	2820	0.19	0.34	0.08	148	3.1
40	88	737	2410	0.10	0.18	0.15	139	5.1
45	106	737	2090	0.14	0.29	0.14	154	4.0
50	120	737	1830	0.11	0.23	0.12	151	3.0
55	168	737	1620	0.09	0.22	0.13	191	2.9
60	252	591	1440	2.21	0.59	0.38	212	7.5

(3). 610 mm. lik borulardan meydana gelecek olan birinci tesisde yılda 6 milyon ton kömür, boru çapları 305 - 405 mm. arasında değişen ikinci tesisde ise «sülfür-hidrokarbon karışımı» taşınacaktır.

Arizona'daki Black Mesa boru hattı ise senede 6 milyon ton kömürü 440 km. mesafeye taşımak üzere plânlanmıştır.

Hidrolik yol ile katı madde nakline yardım eden bir diğer faktör de, «katı-sıvı» karışımlarını taşıyabilecek tipte gemilerin yapılmış olmasıdır. Karışım doğrudan doğruya, boru hattından geldiği şekliyle gemilere pompalanmaktadır. Yolda katı madde dibe çökmekte ise de, boşaltma limanına gelindiğinde karıştırılmak suretiyle homojenlik yeniden temin edilmektedir. (Şekil 30 bir demir cevherinin madenden deniz aşırı izabe tesislerine kadar boru hattı ve gemiler yardımıyla nakledilmesindeki safhaları şematik olarak göstermektedir.

5. SONUÇ

Kömür ve diğer madenlerin hidrolik yol ile nakledilmesi, gün geçtikçe artan bir önem kazanmaktadır. Konu yenidir ve problemi çoktur. Ancak vaadettiği teknik ve ekonomik avantajların çokluğu ve çekiciliği hidrolik nakliyat üzerinde çok yoğun araştırmalar yapılmasına yol açmaktadır.

Yazıda anlatılan hususlardan önemli olan bir kaç tanesine yeniden değinmek gerekirse :

a) Teknik Bakımdan

1. Katı maddeleri «çökelen» ve «çökemiyen» diye iki gruba ayırmak mümkündür. Bazı araştırmacılar genellikle 0.125 mm. den daha ufak parçaları «çökemiyen» sınıfında kabul etmektedirler. Hid-

rolik Nakliyatın problemleri kısmı, «çökelen katılar» m bulunduğu bölgedir.

2. Çökelen katılarla teşkil edilen karışımlar da «homojen» ve «heterojen» diye ikiye ayrılır. Hidrolik Nakliyat, heterojen karışımların getirdiği sorunlarla uğraşmaktadır.

3. Çökme hızı, Hidrolik Nakliyatın en önemli parametrelerinden biridir. Konsantrasyon ve parça büyüklüğü durumlarına bağlı olarak değişik yollardan hesaplanır. Parça büyüklüğü ve yoğunluk ile doğru, konsantrasyon ile ters orantılıdır.

4. Bir boru hattında meydana gelen basınç kaybı, taşınan maddenin yoğunluğu ve akış hızı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Parça büyüklüğünün basınç kaybı üzerindeki etkisi büyüktür. Ancak bir araştırmacı, 2 mm. den sonraki büyüklük artışının basınç üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını iddia etmektedir.

5. Kritik hız, karışımdaki katı parçacıklarının sıvı içinde «çökmemiş» olarak tutulabildiği hızdır. Optimum hız ise, taşıma işinin, basınç kaybını minimumda tutacak şekilde yapıldığı hızdır. Tesislerin, genellikle optimum hız civarında çalıştırılması istenir.

b) Ekonomik Bakımdan

1. Bir Hidrolik Nakil tesisinin ekonomik olabilmesi için kapasitenin, yani yılda taşınacak katı madde miktarının büyük olması gerekmektedir.

2. Hidrolik Nakliyatın ekonomik bakımdan en büyük avantajı işçilik masraflarının çok düşük olmasıdır.

3. Süzme ve kurutma masrafları çok büyük bir yekûn tutmaktadır. Kömür naklinde, karışımı

borudan geldiği şekliyle yakablen kazanların geliştirilmesi şarttır, zira bu takdirde toplam taşıma maliyetinin % 60'ından fazla bir tasarruf temin edilebilmektedir.

4. Bir boru hattı tesisindeki masraflara etki eden en önemli üç faktör «katı maddenin yoğunluğu, tesisin uzunluğu ve, 1. maddede de değinildiği gibi, tesisin kapasitesi» dir. İlk yatırım miktarı ve işletme masrafları da gene bu üç faktöre bağlı olarak değişmektedir.

5. Hidrolik Nakliyatta bölgesel faktörler çok etken bir rol oynadığı için, bilhassa maliyet bakımından bir genelleştirmeye gitmek mümkün değildir. Ancak sadece bir fikir vermek gayesiyle ve kaba bir tahmin olarak, yoğunluğu 2.7-4.9 arasında olan cevherlerin ton - km başına düşecek nakliye masraflarının, «yılda 2 milyon ton taşıma kapasitesi için 0.34 sent ve yılda 10 milyon ton kapasite için de 0.144 sent» civarında olabileceğinin hesaplandığını belirtmekle yetinilecektir (3) (1970 yılı tahminlerine göre). Bu masraflara hattın başı ve sonundaki «karışım hazırlama» ve süzme - Kurutma» masrafları dahil değildir.

Sonuç olarak şunu söylemek gerekir : Büyük bir boru hattı tesis edileceği zaman amprik yaklaşımların güvenilir bir «yol gösterici» rolü oynayacağında şüphe yoktur. Fakat böyle durumlarda tutulacak en gerçekçi yol, önce bir pilot tesis teşkil edip kurulacak boru hattına ait mümkün olduğu kadar fazla bilgi sahibi olmaya çalışmaktır.

SEMBOLLER

w_c	Katıların Çökme hızı (m/s)
CD	Direnç Katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
d	Katı madde parçalarının büyüklüğü (m)
δ_k	Katı madde yoğunluğu
S_s	Sıvı yoğunluğu
R _s	Katı madde parçacıkları için Reynolds Sayısı
Q	Katı madde parçalarının geometrik şeklini niteleyen bir faktör
η	Vizkozite (cP)
η_s	Sıvı vizkozitesi (cP)
A	Karışımındaki katı hacmi oranı (%)
w	Karışımın boru eksenine boyunca olan ortalama akış hızı (m/s)
d _j	Küre olarak kabul edilen ideal parçaların çapı (m)
P	Karışımın hidrolik gradyeninin eğimi («metre su sütunu/metre boru hattı» veya «Kg/cm ² /metre boru hattı»)
P _s	Temiz suyun hidrolik gradyeninin eğimi (aynı birim)
Ch	Hacimsal konsantrasyon

$$Ch = \frac{\text{katı hacmi}}{\text{karışım hacmi}}$$

K	Bir sabit (basınç gradyenine ilgili)
K	Bir sabit (hız ile ilgili)
D	Boru iç çapı (m)
ρ	Temiz su için, Reynolds Sayısı'na bağlı direnç faktörü
η_s	Basınç kaybının minimum olduğu optimum akış hızı (m/s)
N	Boru hattında beher km. uzunluk için gerekli güç (B. G.)

BİBLİOGRAFİK TANITIM

1. W. B. Stephenson; Pipeliye Transportation of Solids Mining Congress Journal, September 1965, S. 83-86
2. H. S. Ellis, P. J. Redberger ve L. H. Bolt; Transporting Solid Slurries Industrial and Engineering Chemistry, August 1963, vol. 55. No. 8, S. 18-26
3. Slurry Pipelining Chemical and process Engineering, November 1970, S. 9
4. M. D. Welzeboer; Transporting Solids by Pipeline Konferans, İngiliz Maden ve Makine Mühendisleri Odası, 16 Mart 1967.
5. J. F. Richardson, W. U. Zaki; Trans. Inst. Chemical Engineering; vol. 32 (1964)
6. W. Beck; Prinzipfragen zum Strömungsmechanischen Transport von Schüttgut durch Rohrleitungen Frelberger Forschungshefte A182, 1961, S. 19-33
7. H. A. Babcock; The State of the Art of Transporting Solids In Pipeline Chemical Engineering Review, No. 48, Vol. 60, S. 36-45
8. Hydraulic Transport of Minerals In pipelines Mining and Minerals Engineering, October 1969 S. 25-30
9. D. M. Newitt ve diğerleri; Hydraulic Conveying of Solids in Horizontal Pipes. Trans. Inst. Chemical Engineering, Vol. 33, 1955, S. 93-113
10. R. S. Fawkes, G. A. Wanchek; Hydraulic Transportations of Coarse Solids R. I. Bureau of Mines, No. 7283, August 1969
11. W. Gimm; Kali- und Steinsalz Bergbau Veb Deutscher Verlag, 1968, Cilt I
12. K. Lemke; Die Förderung von Kohle durch eine Rohrleitung In der Vereinigten Staaten Glückauf 100 (1964), No: 10. S. 549-561

- E. Condollos, P. Curtain; Transport en Conduite des Solids dans l'Industrie Minière. Revue de l'Industrie Minerale, Octobre 1971, S. 22-32
14. G. H. Walker, E. J. Wasp; Experience and prospects in Economic Transportation of Coal in Pipelines.
6 th. World Power Conference, Melbourne, 20-27 October, 1962, paper III-3
15. E. Condollos, E. E. Chapus, J. A. Constans; New Trends in Solids Pipelines Chemical Engineering, May, 1967, S. 131-138
16. I. D. Swann, D. R. Romberger, G. L. **Barthauer**; Corrosion Control Achieved on Coal Slurry Pipeline. Materials Protection, September 1963, S. 26-35
17. G. C. Kindermann; Strömungstechnische Probleme beim Ferntransport bergbaulicher Produkte in Rohrleitungen. Schlägel und Eisen, 1964, No: 1, S. 26-28