

KANAL SANTRALLARINDA

SU İLETİM HATTI VE

YÜKLEME HAVUZLARI

Şefik COFCOF

İnş. Y. Müh.

DOLSAR Müh. Ltd. Şti.

ÖNSÖZ

Artan enerji ihtiyacının yerli kaynaklardan karşılanması amacıyla hazırlanan “Elektrik Piyasası Kanunu”nun yürürlüğe girmesiyle, özel sektör tarafından hidrolik projelerin yapımının hızla arttığı görülmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan hidrolik santraller, işletmesi kolay ve pik saatlerde kısa sürede hizmete girmesi gibi avantajlara sahiptir.

2006 yılı verilerine göre 172983 GWh olan fiili enerji üretiminin %75’i termik ve %25’i ise hidrolik kaynaklardan karşılanmaktadır.

Ülkemizin sahip olduğu topoğrafik koşullar dolayısıyla, barajlı (depolamalı) HES tesislerinin yanı sıra nehir ve kanal santralleri de önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Üretilmekte olan (2006 yılı için 43543 GWh/yıl) hidroelektrik enerjisinin yaklaşık %12’si nehir ve kanal santralleri tarafından karşılanmaktadır. Halen özel sektör tarafından yapımı hızla devam eden çok sayıda bu tip HES tesislerinin hizmete girmesiyle yukarıda verilen oranlarda önemli artış olacağı tahmin edilmektedir.

Hazırlanan bu teknik rehber, esas itibari ile DSİ tarafından 1996 yılında yayınlanan “Kanal Santrallerinde Genel Boyutlandırma Esasları”nın devamı ve tamamlayıcısı niteliğini taşımaktadır.

Rehberde, projenin önemli kısımlarını oluşturan, su iletim hattı ve yükleme havuzları ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve planlamasını yaptığımız projelerden yararlanılarak, elde edilen pratik sonuçlar ortaya konmuştur. Su iletim hattı için Q_{maks} debisinin optimizasyonu ve projenin ön değerlendirilmesinde kullanılmak üzere ekonomisinin tahmini ile yükleme havuzunun tertibi bu rehberin ana konularını teşkil etmektedir.

Bilhassa Bölüm 3’de verilen örnekler tamamen daha önce üzerinde çalışarak fizibilite raporlarını hazırladığımız projelerden seçilmiştir. Böylece, burada geliştirdiğimiz metodlarla elde edilen sonuçların daha önce metraj ve keşiflere dayalı olarak bulduğumuz sonuçlarla karşılıklı kontrolü sağlanmıştır.

Bu rehber teorik bir eser olmaktan çok bilhassa sağladığı pratik sonuçlarla planlamacı ve projecilere yardımcı olmayı hedef almıştır. Konu üzerinde daha fazla derinleşmek isteyenler, son kısma ilave edilen kaynak listesindeki eserlere başvurabilirler. Yaptığımız çalışmada bu eserlerden yararlanılmıştır.

Bu rehberin hazırlanmasında ve kontrolunda titiz çalışmaları ile büyük emeği geçen Sayın İnş. Müh. Zehra KAPIDERE'ye ve çalışmalarımı destekleyen ve bütün olanakları sağlayan DOLSAR Müh. Ltd. şti'nin sayın yetkililerine teşekkür ederim.

şefik COFCOF

Kasım 2008/Ankara

İÇİNDEKİLER

| | | |
|--------|--|------|
| 1. | BAZI TEMEL KAVRAMLAR | 1-1 |
| 1.1. | Giriş..... | 1-1 |
| 1.2. | Debi-Süreklilik Eğrisi | 1-2 |
| 1.3. | Yük Eğrisi | 1-2 |
| 1.4. | Firm Enerji-Sekonder Enerji | 1-3 |
| 1.5. | Kanal Santrallerinde Depolama (Biriktirme) Hacmi | 1-3 |
| 1.5.1. | Günlük Yük Eğrisine Göre Enerji Üretimi | 1-3 |
| 1.5.2. | Günlük Pik İhtiyaca Göre Enerji Üretimi | 1-5 |
| 2. | SU İLETİM HATTI | 2-1 |
| 2.1. | Giriş..... | 2-1 |
| 2.2. | Basıncılı Çalışan Dairesel Kesitli Betonarme Tünellerde Ekonomik Tünel Çapı | 2-6 |
| 2.3. | Serbest Akımlı Atnalı Kesitli Betonarme Tünelde Ekonomik Tünel Çapı..... | 2-12 |
| 2.4. | Trapez ve Duvarlı (Dikdörtgen Kesitli) Enerji Kanallarında Ekonomik Eğim..... | 2-14 |
| 3. | EKONOMİK ÇEVİRME DEBİSİNİN (Q_{maks} 'ın) BELİRLENMESİ | 3-1 |
| 3.1. | Giriş..... | 3-1 |
| 3.2. | Açıkta Döşenmiş Sabit Et Kalınlıklı ve Sabit Çaplı Çelik Cebri Boruda Ekonomik Çap Seçimi | 3-3 |
| 3.3. | Serbest Akımlı Su İletim Hattında Ekonomik (Q_{maks}) Çevirme Debisinin Seçimi | 3-8 |
| 3.3.1. | Projenin Yıllık Gideri (YTL)..... | 3-8 |
| 3.3.2. | Projenin Yıllık Geliri (YTL)..... | 3-10 |
| 3.3.3. | Yıllık Net Gelir (YTL) | 3-10 |
| 3.4. | Basıncılı Çalışan Dairesel Kesitli Tüneli Su İletim Hattında Ekonomik (Q_{maks}) Çevirme Debisinin Seçimi..... | 3-26 |
| 3.4.1. | Projenin Yıllık Gideri (YTL)..... | 3-26 |
| 3.4.2. | Projenin Yıllık Geliri..... | 3-26 |
| 3.4.3. | Yıllık Net Gelir (YTL) | 3-27 |
| 4. | YÜKLEME HAVUZLARI | 4-1 |
| 4.1. | Yükleme Havuzu Tertip Şekli ve Kısımları | 4-1 |
| 4.1.1. | Yükleme Havuzunun Tertip Şekli | 4-1 |
| 4.1.2. | Yükleme Havuzunun Kısımları | 4-2 |
| 4.2. | Boyutlandırma | 4-4 |
| 4.3. | Değişken, Permanan Olmayan Akımlar (Unsteady Flow) | 4-5 |
| 4.4. | Vorteks (Girdap) Durumu | 4-12 |
| 4.4.1. | Vorteks Oluşumuna Tesir Eden Faktörler ve Vorteksin Zararları | 4-12 |
| 4.4.2. | Vorteks Oluşumuna Karşı Alınacak Önlemler | 4-13 |
| 4.5. | Yükleme Havuzu Örnekleri..... | 4-19 |

KAYNAK LİSTESİ

1. BAZI TEMEL KAVRAMLAR

1.1. Giriş

Hidroelektrik santraller depolamasız veya depolamalı olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlardan kanal ve nehir santralleri depolamasız olup gelen suya göre çalışırlar. Bu tip santrallerde, akarsu üzerinde tesis edilen bir çevirme (regülatör) yapısından alınan suyun, su iletim hattı sonunda yer alan santralda türbinlenerek enerjisi alınmaktadır. Barajlı santraller ise depolamalı grubu oluşturmaktadır. Depolamalı olan bu santrallerin büyük bir kısmı günlük yük talebine göre çalışmakta olup pik enerji üretirler. Türbinlenen suyun debisinde önemli bir değişiklik olmayan santraller (baz santraller) yıl boyunca baz enerji üretirler.

Kanal (veya nehir) santrallerinde üretilecek enerjinin miktarı, su çevirme eksenindeki suyun debi-süreklilik eğrisine (suyun paternine), maksimum çevirme debisine ve temin edilen düşü miktarına bağlıdır.

Kanal (nehir) santralleri aşağıda belirtilen kısımlardan meydana gelir.

- a) Ulaşım ve servis yolları, site tesisleri
- b) Su çevirme yapısı ve çökeltim havuzu
- c) Su iletim hattı (serbest veya basınçlı akım)
- d) Serbest akımlı su iletim hattı alternatifinde yükleme havuzu
- e) Basınçlı su iletim hattı alternatifinde denge bacası
- f) Cebri boru su alma yapısı
- g) Cebri borular
- h) Santral binası ve şalt sahası inşaatı
- i) Santral binası ve şalt sahası daimi teçhizatı
- j) Kuyruksuyu kanalı
- k) Enerji nakil hattı (ENH)

Kanal santrallerinin hidrolik profili, serbest akımlı su iletim hattı için Şekil 1a'da basınçlı su iletim hattı için ise Şekil 1b'de verilmiştir.

1.2. Debi-Süreklilik Eğrisi

Debi-süreklilik eğrisi, dikkate alınan debiye eşit veya daha büyük bir debinin, akım değerlerinin analize tabi tutulan periyod içerisinde, zamana göre gelme ihtimalini göstermektedir. Buna göre bilhassa kanal (nehir) santrallarının planlama ve proje çalışmalarında kullanılan bu eğri, uzun zaman periyodu içinde akarsuyun debi değişimini en iyi şekilde karakterize eden özlü bir eğridir.

Debi süreklilik eğrisinin günlük akımlara dayanarak hazırlanması gerekmektedir. Aylık ortalama akımlarla elde edilen debi-süreklilik eğrisi ile (akarsuyun rejimine ve memba şartlarına bağlı olmakla birlikte) beklenen aynı hassas sonuç elde edilemez. Yani belirli bir hata payının düşünülmesi gerekir. Bir fikir vermek amacıyla günlük akımlarla hazırlanan debi süreklilik eğrisi ile elde edilen sonuçlar aylık ortalama akımlarla hazırlanmış olan debi süreklilik eğrisi sonucunun yaklaşık %93~%95'idir.

Debi süreklilik eğrisi yardımıyla herhangi bir debinin zamanın yüzde kaçında iletim hattından geçeceği ve maksimum çevirme debisine bağlı olarak yıllık türbinlenecek su miktarı hesaplanabilmektedir. Tipik bir debi-süreklilik eğrisi Şekil 2'de verilmiştir.

1.3. Yük Eğrisi

Yük eğrisi zaman içerisinde güç değişimini gösterir. Yük eğrileri günlük, aylık ve yıllık olarak hazırlanabilir. Ordinatta yük (kW, MW) yatay ekseninde ise zaman gösterilir. Değerlendirmenin kolay yapılabilmesi için düşey ekseninde yükün pik güce olan yüzde oranı belirtilmektedir. Bu şekilde tertip edilen eğri (Şekil 3) birim yük eğrisi olarak adlandırılmaktadır. Yük eğrisinin incelenmesinden görüleceği üzere eğrinin tepe kısmı pik gücü en alt kısmı ise baz gücü temsil etmektedir.

Belirlenen bir periyod için ortalama gücün pik güce oranı ayın periyodun yük faktörünü temsil eder. Yük faktörü yük eğrisinden kolayca hesaplanabilir.

Hidrolik santralların pik gücünün çalışma süresi günde standard olarak 6 saat alınır ($6/24=0.25$). İşletme yönünden en uygunu 8 saattir ($8/24=0.33$). Pik (puant) santralların 4 saatten daha az çalışması ($4/24=0.17$) santralın hizmete girme ve çıkması için yeterli olamayacağından uygun görülmemektedir.

Yeterli depolamanın olması durumunda hidroelektrik santral, ihtiyaç durumuna göre, yalnız pik ihtiyacı karşılayacak şekilde çalıştırılmaktadır.

1.4. Firm Enerji-Sekonder Enerji

Firm enerji, teorik olarak hidroelektrik santralda sürekli olarak üretilen enerjidir. Ancak pratikte, ekonomik düşüncelerle, hidroelektrik santralda zamanın %95'inde garantili olarak elde edilen enerji firm olarak kabul edilmektedir. Buna göre, debi-süreklilik eğrisinde zamanın %95'nde gelecek $Q_{.95}$ debisi firm debiyi temsil etmektedir. Bir başka ifade ile enerji üretiminde 20 yılda 1 yıl eksiklik olacağı (yani firm enerjide %5 eksik üretim) kabul edilmektedir. Çok kurak yıllardaki HES üretimlerinin eksik enerjileri termik santrallerle telafi edilmektedir.

Firm enerjinin fazlası olarak üretilen enerji ise sekonder enerji niteliğini taşımaktadır. Sekonder enerji garanti edilen bir enerji olmayıp ne zaman mevcut olursa temin edilebilmektedir.

1.5. Kanal Santrallerinde Depolama (Biriktirme) Hacmi

1.5.1. Günlük Yük Eğrisine Göre Enerji Üretimi

Gün içerisinde değişen enerji ihtiyacını karşılayabilmek için depolamaya ihtiyaç olacaktır. Böylece iletim kanalından gelen debi dengelenerek yük eğrisine uygun olarak değişen enerji talebini karşılamış olacaktır. Bir örnek olarak, Şekil 3'de verilen ortalama günlük birim yük eğrisine uygun enerji üretimini sağlamak amacıyla gerekli olan depolama (biriktirme) hacmi aşağıda hesaplanmıştır. Yük eğrisine uygun enerji üretimi için türbinlenen su miktarları da ekte sunulan tabloda verilmiştir.

İletim kanalı ort. Debisi $Q_{ort} = 68.50 \text{ m}^3/\text{s}$

Santralin net düşüsü $H_n = 27.58 \text{ m}$

Türbin verimi: 0.92, generatör verimi: 0.98

Toplam verim: $0.92 \times 0.98 = 0.9016$

Güç (kW) = $9.81 \times 0.9016 \times Q_{ort} \times 27.58$

$$= 243.937 Q_{ort}$$

Gün içerisinde gücün pik güce göre değişim oranı Şekil 3'den alınacaktır.

Yük faktörü = %70.5

$$\text{Pik güç (kW)} = \frac{243.937 Q_{\text{ort}}}{0.705}$$

$$= 346.010 Q_{\text{ort}}$$

Pik gücün α değerinde güç üretimi için debi

$$243.937 Q_i = 346.010 Q_{\text{ort}} \alpha$$

$$Q_i = 1.418 Q_{\text{ort}} \alpha$$

Santralin (pik gücü) kurulu gücü $\cong 23700$ kW (2x11850 kW)

Santralin baz gücü $\cong 10425$ kW (1x10425 kW)

Türbin gücünde değişim oranı: $10425/11850 = \%88$

Bu değişim oranının türbinde kavitasyon yaratmayacağı tahmin edilmektedir. Türbin tipine göre bunun imalatçı firma tarafından tahkikinin yapılması gerekmektedir.

Yük Eğrisine Uygun Enerji Üretimi İçin Türbinlenen Su Miktarları

| Saatler (1) | Pik gücün yüzdesi % (2) | Gelen su (ort. Debi) m ³ /s (3) | Enerjiye çekilen Q _i m ³ /s (4) | Artan m ³ /s (5) | Eksik debi m ³ /s (6) |
|----------------|-------------------------------|---|--|--------------------------------|--|
| 01 | 50 | 68.50 | 48.566 | 19.934 | |
| 02 | 46 | 68.50 | 44.681 | 23.819 | |
| 03 | 44 | 68.50 | 42.738 | 25.762 | |
| 04 | 46 | 68.50 | 44.681 | 23.819 | |
| 05 | 50 | 68.50 | 48.566 | 19.934 | |
| 06 | 55 | 68.50 | 53.423 | 15.077 | |
| 07 | 65 | 68.50 | 63.136 | 5.364 | |
| 08 | 72 | 68.50 | 69.935 | | 1.435 |
| 09 | 80 | 68.50 | 77.706 | | 9.206 |
| 10 | 87 | 68.50 | 84.506 | | 16.006 |
| 11 | 92 | 68.50 | 89.362 | | 20.862 |
| 12 | 100 | 68.50 | 97.133 | | 28.633 |
| 13 | 96 | 68.50 | 93.247 | | 24.747 |
| 14 | 95 | 68.50 | 92.276 | | 23.776 |
| 15 | 92 | 68.50 | 89.362 | | 20.862 |
| 16 | 88 | 68.50 | 85.477 | | 16.977 |
| 17 | 85 | 68.50 | 82.563 | | 14.063 |
| 18 | 80 | 68.50 | 77.706 | | 9.206 |
| 19 | 75 | 68.50 | 72.850 | | 4.350 |
| 20 | 70 | 68.50 | 67.993 | 0.507 | |
| 21 | 65 | 68.50 | 63.136 | 5.364 | |
| 22 | 60 | 68.50 | 58.280 | 10.220 | |

| | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|---------------|----------------|----------------|
| 23 | 55 | 68.50 | 53.423 | 15.077 | |
| 24 | 45 | 68.50 | 43.710 | 24.790 | |
| Toplam | 1693 | 1644 | ≈ 1644 | 189.667 | 190.123 |

5. ve 6. kolonların Toplamları eşit olması gerekirken, işlemlerdeki küsürat hatasından dolayı küçük bir fark olmuştur.

biriktirme havuzunun hacmi = 190.123 x 3600

$$= 684\,450\text{ m}^3$$

1.5.2. Günlük Pik İhtiyaca Göre Enerji Üretimi

Enerji genel olarak, talep artışı dolayısıyla pik saatlerde daha kıymetlidir. Buna göre santralın günde belirlenen saatlerde pik enerji üretimini sağlanması ile santralın enerji üretimindeki ekonomisi önem kazanır. Bunun temin edilebilmesi yine bir günlük depolamaya (biriktirmeye) ihtiyaç olacaktır.

Örnek; 1.5.1'de verilen kanal santralında,

Pik çalışma süresi= 8 saat (8/24 = 0.33)

Baz çalışma süresi= 16 saat

Gelen debi, $Q_{ort} = 68.5\text{ m}^3/\text{s}$

Ort. Güç= $9.81 \times 0.9016 \times 68.5 \times 27.58$ (kW)

$$= 16700\text{ kW} (2 \times 8350)\text{ kW}$$

Örnek olarak baz güç : 16700×0.75 kW; (2x6260) kW seçildiği takdirde,

Baz debi $Q_b = 51.375\text{ m}^3/\text{s}$

Pik çalışma süresi 8 saat kabul edildiği takdirde pik debi,

$$24 \times 68.5 = 16 \times 51.375 + 8 Q_p$$

$$Q_p = 102.75\text{ m}^3/\text{s}; (3 \times 8350)\text{ kW}$$

Türbin ünitesinde güç değişim oranı: $6260/8350 = \%75$

Gerekli depolama hacmi,

$$V = (68.5 - 51.375) \times 16 \times 3600 = 986.400\text{ m}^3$$

Bu alternatifte,

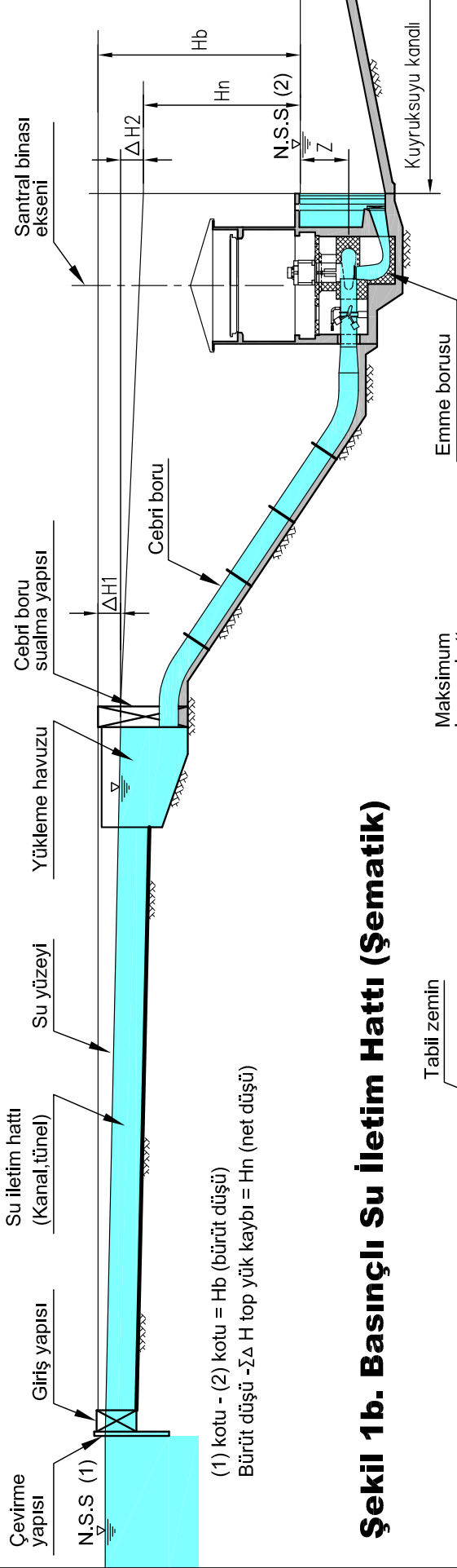
Santralin pik ihtiyacı karşılayabilmek için kurulu güc = 3×8350 kW olacaktır.

Ortalama debiye göre ise santralin gücü= 2×8350 kW dır.

Buradan görüleceği üzere, pik enerji üretimi için santralin gücünün artırılması ve bir depolama tesisine ihtiyaç olacaktır. Bütün bunlar ilave bir yatırım gerektirecektir. Ancak, ilave yatırımdan dolayı meydana gelen yıllık giderin pik enerji satışı dolayısıyla sağlanacak yıllık ilave enerji geliri ile karşılaştırılarak yapılacak bu ilave yatırımının ekonomik olup olmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir.

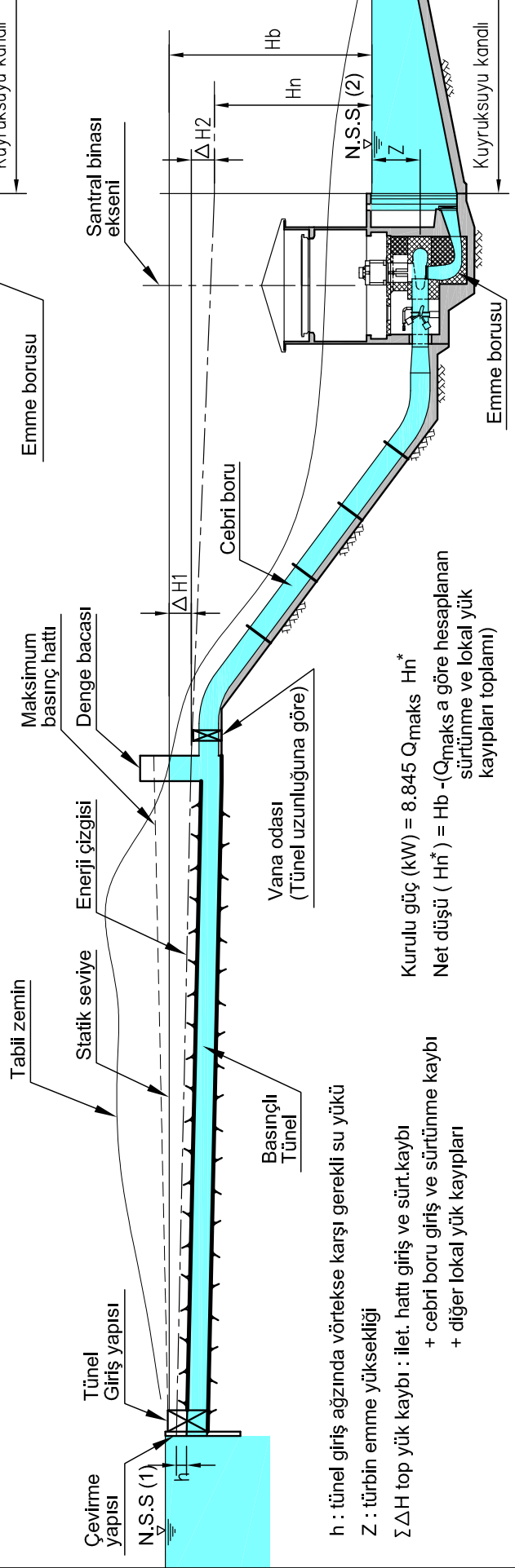
KANAL SANTRALLARI HİDROLİK PROFİLİ

Şekil 1a. Serbest Akımlı Su İletim Hattı (Şematik)



(1) kotu - (2) kotu = H_b (bürüt düşü)
 Bürüt düşü - $\sum \Delta H$ top yük kaybı = H_n (net düşü)

Şekil 1b. Basınçlı Su İletim Hattı (Şematik)

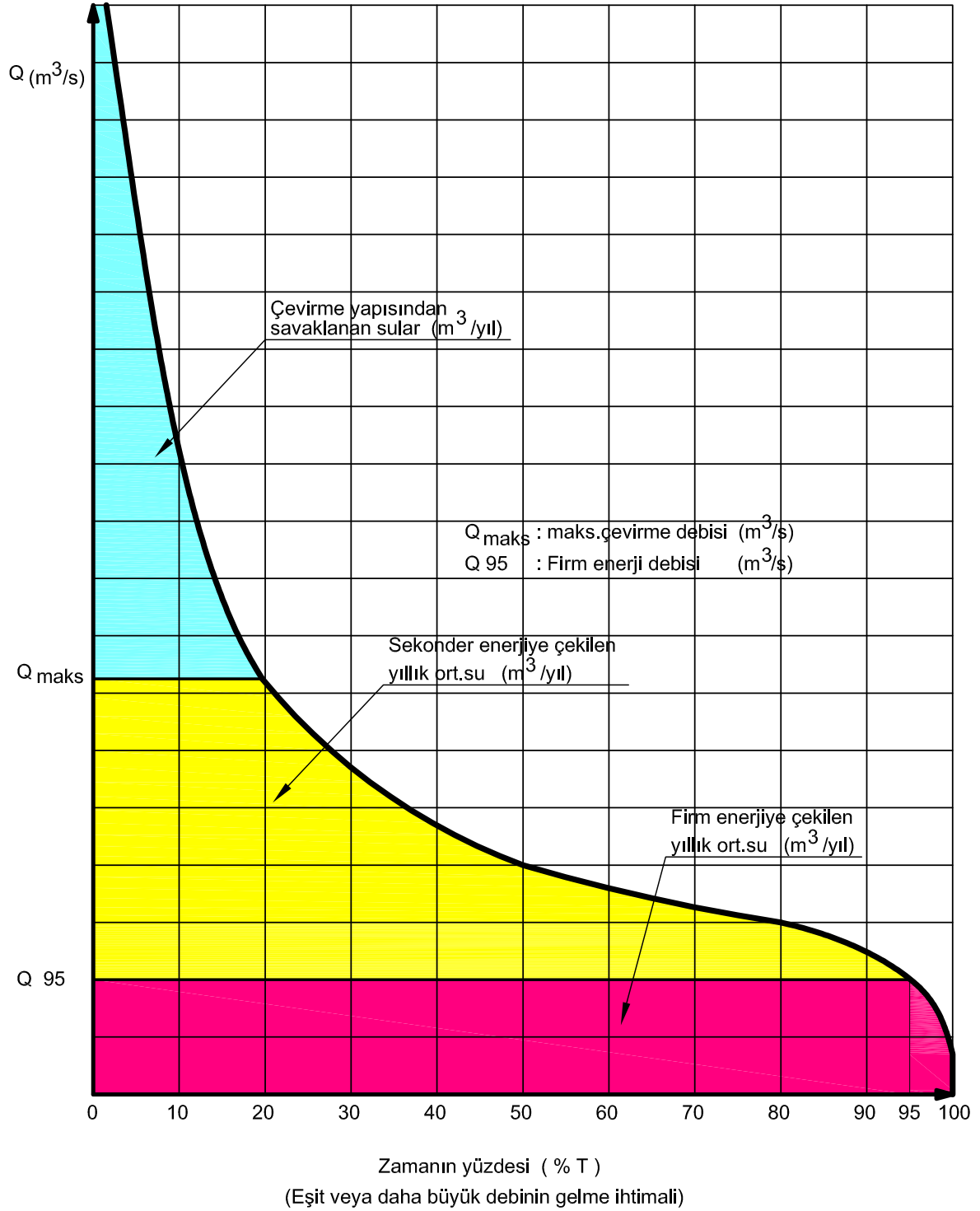


h : tünel giriş ağzında vortekse karşı gerekli su yükü
 Z : türbin emme yüksekliği

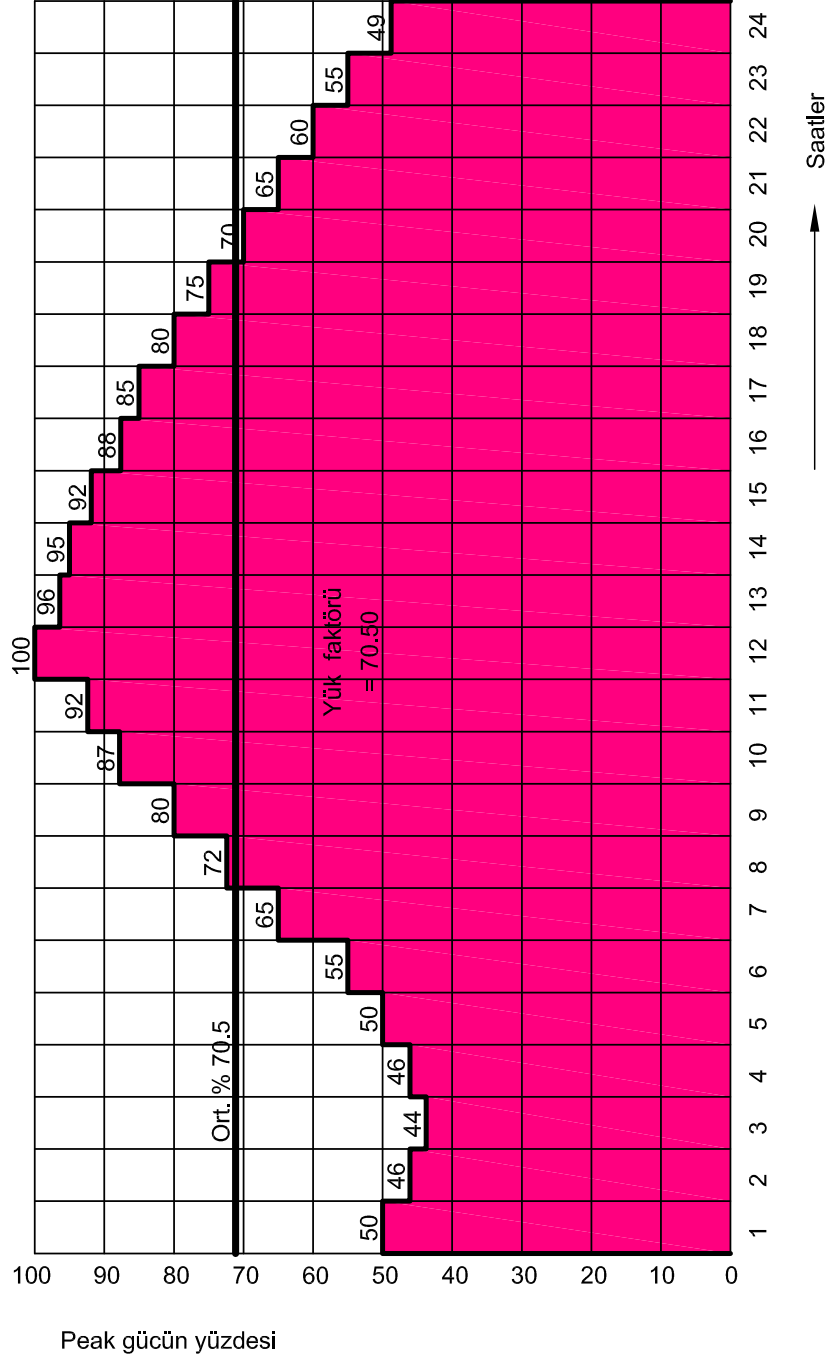
$\sum \Delta H$ top yük kaybı : ilet. hattı giriş ve sürt.kaybı
 + cebri boru giriş ve sürtümme kaybı
 + diğer lokal yük kayıpları

Kurulu güç (kW) = $8.845 Q_{maks} H_n^*$

Net düşü (H_n^*) = $H_b - (Q_{maks} a \text{ göre hesaplanan sürtümme ve lokal yük kayıpları toplamı})$



Şekil 2. Debi - Süreklilik eğrisi



- Günlük pik güç : 20 MW
- Günlük ortalama güç : 14.10 MW
- Yük faktörü : 14.10/20 = % 70.5

Şekil 3. Ortalama Günlük Birim Yük Eğrisi

2. SU İLETİM HATTI

2.1. Giriş

Su çevirme yapısı ile yükleme havuzu (basınçlı su iletim hattında denge bacası) arasında yer alan su iletim hattı kanal, tünel, boru hattı veya bunların kombinasyonundan meydana gelir. Su iletim hattı topoğrafik ve jeolojik koşullar dikkate alınarak uygun bir güzergahdan geçirilir.

Su iletim hattı basınçlı veya serbest akımlı olabilir. Serbest akımlı tünellerde kabarma ve hava sıkışması gözönüne alınarak doluluk oranının 0.82 seçilmesi uygun görülmektedir (Kaynak 7). Buna ilaveten bilhassa uzun tünellerde, uygun aralıklarla havalandırma bacalarının teşkili yararlı olacaktır. Serbest akımlı tünellerde en çok kullanılan kesit şekli, tünel kayasının jeolojik yapısı dikkate alınarak, standart atnalı veya değiştirilmiş (tabanı düz ve dik duvarlı) atnalı kesitlerdir. Basınçlı su iletim hatlarında ise dairesel tünel kesiti kullanılmaktadır. Tünel kesitleri topluca Şekil 4'de verilmiştir. Dairesel kesitli basınçlı tünellerde, kazı kolaylığı için kazı kesiti atnalı kesite yakın açılmaktadır. (Şekil 4c)

Tünel eğimi, özel hidrolik bir sebep olmadığı müddetçe, portaldan portala sabit olarak devam etmelidir. Serbest akımlı tünelde proje kapasitesindeki akımın stabilitesini sağlamak amacıyla Froude sayısının 0.7'yi geçmemesi istenmektedir.

Tünelin beton kaplama kalınlığı iç çapın yaklaşık 1/10 ~ 1/12'si civarında seçilir. Minimum kaplama kalınlığı 30 cm.den az olmamalıdır. Tünel kaplama kalınlığının ve donatısının şüphesiz tünel kayasının yapısına, iç ve dış basınçlara göre projelendirilmesi gerekmektedir.

Açık kanallar genellikle trapez kesitli ve beton kaplamalı olarak yapılır. Bununla beraber arazinin enine eğiminin dik olduğu yerlerde duvarlı (dikdörtgen kesitli) kanallar kullanılmaktadır. Yüksek kotlarda donma tehlikesine karşı kanallar kapalı olarak inşa edilirler. Beton kaplamalı trapez kanallarda şev (düşey/yatay) genellikle 1 : 1.5 alınmaktadır. Ancak sağlam kayada bu şev 1: 1 ve hatta 1: 0.5 gibi daha dik şevli tesis edilmektedir. Kanallar genellikle yarmada teşkil edilir. Şartlar zorlamadıkça kanal dolguya oturtulmamalıdır. Böyle bir durumda uygun dolgu malzemesinin seçilmesi ve kanal kaplaması için özel detayların uygulanması gerekmektedir. Büyük kapasiteli enerji kanalları ile dolguda bulunan trapez kesitli kanal için örnekler Şekil 5 a,b ve Şekil 6'da verilmiştir.

Kanal güzergahı boyunca tertip edilen yaklaşık 6 m genişliğindeki ulaşım yolu aynı zamanda işletme ve bakım yolu olarak hizmet vermektedir.

Kanallarla ilgili olarak belirtilmesi gerekli görülen bazı hususlar:

- Kanal enkesiti sık sık değiştirilmemelidir,
- Kanalın maksimum debisi ve eğimi, seçilen güzergahın durumu ve proje ekonomisi gözönüne alınarak, optimizasyon sonucu belirlenmelidir,
- Arazi enine eğiminin fazla olması durumunda ve büyük debilerde, kanalda su derinliği artırılarak (4.0~4.5 m gibi) kazı hacminde ekonomi sağlanabilir.
- Enerji kanallarında beton kaplama kalınlığı (dolguda geçen kanallar ve büyük kapasiteli $Q > 80 \sim 100 \text{ m}^3/\text{s}$ kanallar gibi) özel bir durum olmadıkça ortalama olarak 15 cm seçilir.

Tünellerle ilgili olarak bazı hususlar;

- Tünel eğimi değiştirilmemelidir
- Temiz su taşıyan (suyu depolama tesisinden veya çökeltim havuzundan alan) tünellerde maksimum hız 3~4 m/s alınabilir.
- İçinde silt, kum gibi askıda sediment ihtiva eden sularda ise tüneldeki maksimum hız 3 m/s'yi geçmemelidir.

Bu çalışmada askıdaki sediment durumu gözönüne alınarak tünelde maksimum hız 3 m/s alınmıştır.

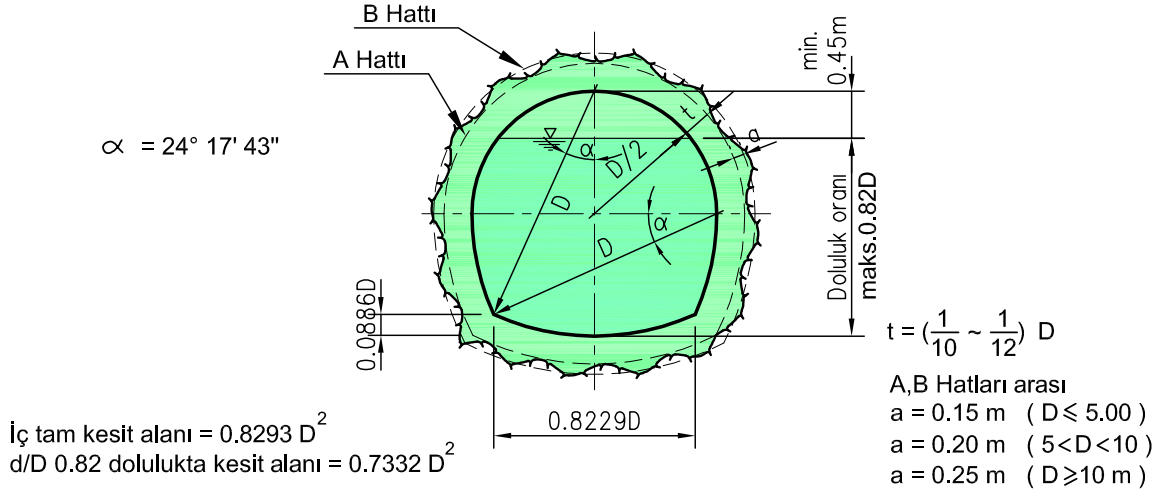
Su iletim kanalı yükleme havuzuna gittikçe genişleyip ve derinleşerek bağlanır. Böylece yük kayıplarının daha az olması sağlanmış olur.

İletim kanalından yükleme havuzuna taşınan askıdaki sediment türbin kanatlarını aşındırarak erozyona sebep olur. Düşü yüksekliği arttıkça bu zararlı etki daha da artar. Düşü yüksekliğinin 30~50 m olması durumunda bile askıdaki sedimentin çökeltilmesi gerekir. Pelton türbinlerinde 0.1 mm'den Francis tipi türbinlerde 0.3~0.5 mm ve Kaplan tipi türbinlerde ise 0.5~0.7 mm'den büyük danelerin çökeltilmesi gerekli görülmektedir.

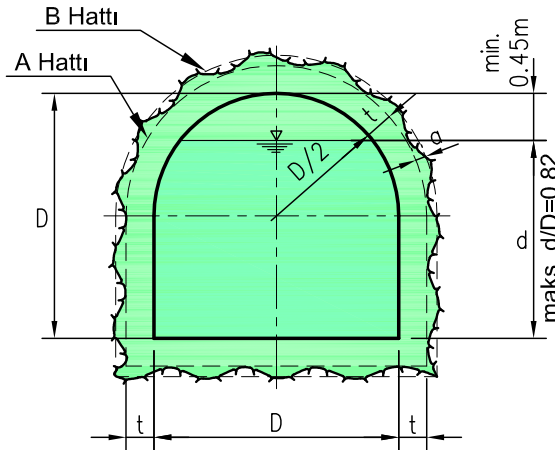
Yükleme havuzunda akım hızı yavaşladığından (0.10~0.25 m/s) askıda taşınan sedimentin çökelmemiş kısmı burada tekrar çökelme imkanı bulur.

Şekil 4. Su İletim Hattında Tünel Kesitleri

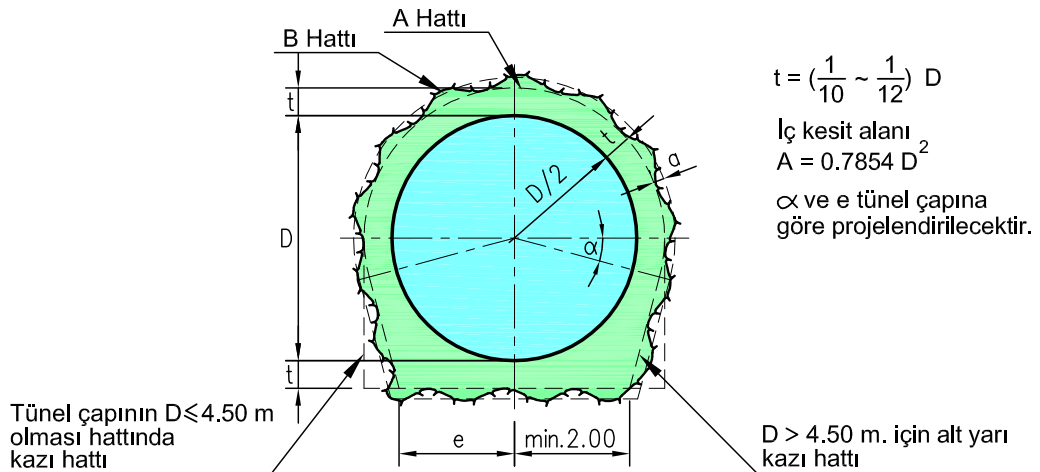
a - Serbest akımlı atnalı tünel kesiti



b - Serbest akımlı değiştirilmiş atnalı tünel kesiti



c - Basıncılı akımda dairesel tünel kesiti



2.2. Basıncılı Çalışan Dairesel Kesitli Betonarme Tünelde Ekonomik Tünel Çapı

Basıncılı çalışan tünellerin projelendirilmesinde dış yüklerin ve iç basıncın ayrı ayrı dikkate alınması gerekir. Projelendirmede tünel kayasının özelliği ve yapısal durumu önem arzeder. Genellikle tünel kaplaması üzerindeki örtü tabakasının kalınlığı tünelin işletme basıncının %40'dan az olması halinde, basıncılı çalışan tünellerin çelik kaplanması istenmektedir (Kaynak 7). Basıncılı çalışan tünellerde iç basıncın 40~45 m'den az olması durumlarda betonarme kaplama kullanılmaktadır.

Tünel kaplamasının iç basıncı ve dış yükleri güvenle karşılaması gerekir. Çevre kayanın zayıf olması durumunda ise bu yüklerin tamamı kaplama tarafından karşılanacaktır.

Tünel kaplaması özetle,

- İç basınç olmadığına göre dış yüklerle (zemin yükü ve zemin içindeki su yükü),
- Dış yükler olmadığına göre iç basınca mukavemet edecek şekilde projelendirilir.

Tünel kayasının sağlam olması durumunda ise betonarme kaplama, iç basıncı belirlenecek bir oranla kaya ile ortak karşılayabilir.

i) Tarif ve Kabuller

- D: Tünel çapı (m), alanı: $0.7854 D^2$
- Lt: Tünel uzunluk zammına esas olmak üzere tek parçada açılacak tünel parçasının uzunluğu (km),
- s_t : Enerji çizgisi eğimi (hidrolik eğim)
- n: Manning pürüzlülük katsayısı (tünel kaplama betonunda çelik kalıp kullanılacağına göre): 0.014
- Q_{maks} : Tünelden geçen maksimum debi (m^3/s)
- Q_{ort} : Tünelden geçen yıllık ortalama debi (m^3/s)

- V: Yıllık türbinlenen ortalama su miktarı (m³)
- $Q_{ort} = \frac{V}{31.536 \times 10^6}$
- V_{maks} : maksimum hız (≤ 3 m/s)
- $V_{maks} = \frac{Q_{maks}}{0.7854D^2} = \frac{1}{0.014} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} s^{1/2}$
- $Q_{maks} = 22.263 D^{8/3} s^{1/2}$
- $s(maks) = 2.018 \times 10^{-3} Q_{maks}^2 D^{-16/3}$ (Kaynak 10)
- Tesis maliyetleri 2007 yılı fiyatlarına göre hesaplanmıştır.

ii) Tünel Tesis Maliyetleri

Bu çalışmada tünelin, Terzaghi skalasında 3 ve 4 olarak sınıflandırılan, çatlak araları kuvars ve kalsit bağlayıcı ile dolu eklemli, çatlaklı ve parçalı (gerektiğinde kaya bulunu veya hesaplı iksa ile geçilen) magmatitler, metomorfitler ve tortul kütlelerden oluşan orta sağlamlıkta kaya içinde açılacağı düşünülmüştür.

ABD Doları = 1.5 YTL kabul edilmiştir (2007 yılı için)

Orta sağlamlıkta kayada tünel keşif bedeli (Kaynak 5)

$$(KB) = 341 (D)^{1.676} (L_t)^{0.168} \quad \text{ABD Doları/m}$$

$$(KB) = 511 (D)^{1.676} (L_t)^{0.168} \quad \text{YTL/m}$$

Burada D: tünel çapı (m), L_t : tünel uzunluk zammına esas tünel uzunluğu (km)

Bilinmeyenler ve etüd-proje ve kontrollük için ayrı ayrı %10 ve inşaat süresinin ise ortalama 2 yıl olduğu kabulünden hareketle,

$$\text{Tesis Bedeli (TB)} = 562 (D)^{1.676} (L_t)^{0.168} \quad \text{YTL/m}$$

$$\text{Proje Bedeli (PB)} = 618 (D)^{1.676} (L_t)^{0.168} \quad \text{YTL/m}$$

$$\text{Yatırım Bedeli (YB)} = 677 (D)^{1.676} (L_t)^{0.168} \quad \text{YTL/m}$$

iii) Tünelin Yıllık Giderleri

Yıllık giderlerin hesabında, tesisin ekonomik ömrünün 50 yıl olduğu kabul edilmiş ve sosyal iskonto oranı ise % 9.5 alınmıştır.

Tünelin yıllık gideri; yatırım bedelinin amortisman faktörü (0.09603) ile çarpımına, tesis bedelinin işletme-bakım faktörü (0.005) ile çarpımı ve yine tesis bedelinin yenileme faktörü (0.000033) ile çarpımları neticesi bulunacak giderlerin toplamı ile bulunacaktır.

Buna göre;

$$\text{Yıllık amortisman gideri} : 65.01 (D)^{1.676} (L_t)^{0.168} \text{ YTL/m}$$

$$\text{İşletme ve bakım gideri} : 2.81 (D)^{1.676} (L_t)^{0.168} \text{ YTL/m}$$

$$\text{Yenileme gideri} : 0.02 (D)^{1.676} (L_t)^{0.168} \text{ YTL/m}$$

Tünelin yıllık toplam gideri,

$$(YG) = 67.84 (D)^{1.676} (L_t)^{0.168} \text{ YTL/m} \text{ olmaktadır.}$$

iv) Tünelde Sürtünme Kaybından Dolayı Meydana Gelen Yıllık Enerji Kaybı

- Yıllık türbinlenen ortalama su miktarı V (m^3): $31.536 \times 10^6 \times Q_{ort}$

- 1 m tünel uzunluğunda meydana gelen ortalama düşü kaybı

$$s_{ort.} = 2.018 \times 10^{-3} Q_{ort}^2 D^{-16/3}$$

- Türbin verimi: 0.92, generatör verimi: 0.98

- Enerji kaybı (kWh/yıl/m) : $9.81 \times 0.92 \times 0.98 \frac{V}{3600} \times s_{ort}$

$$\frac{Q_{ort}}{Q_{maks}} = \alpha \text{ alındığında enerji kaybı} = 8.845 \frac{31.536 \times 10^6 \times Q_{ort}}{3600} 2.018 \times 10^{-3}$$

$$\times Q_{ort}^2 D^{-16/3} = 156.35 Q_{maks}^3 \alpha^3 D^{-16/3} \text{ (kWh/yıl/m)}$$

Birim enerji faydasının bulunmasında DSİ 2004 yılı firm enerji fiyatı baz alınmış ve bu değer toptan eşya fiyat endeksi ile taşınarak 2007 yılı için

yaklaşık 0.12 YTL/kWh hesap edilmiştir. Daha sonra yapılan diğer bir kontrolla bu enerji birim fiyatının (faydasının) gerçek durumu yansıttığı görülmüştür. Üretilen enerji, ulusal elektrik şebekesini beslemekte ve ülkemizin herhangi bir yerinde istenilen güç ve elektrik enerjisi bu şebekeden temin edebilmektedir. Bu prensipten hareketle, burada yapılan hesaplarda elektrik enerjisi için tek fiyatın alınmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür. Buna göre;

$$\text{Enerji kaybı (YTL/yıl/m)} = 18.76 Q_{\text{maks}}^3 \alpha^3 D^{-16/3}$$

v) Bir Metre Uzunluktaki Tünelde $s_{(\text{maks})}$ Düşü Kaybının Daimi Teçhizata Etkisi

(s_{maks}) düşü kaybına ait kurulu gücün daimi teçhizatın yıllık giderinde meydana getirdiği azalma,

$$\text{Kurulu güç azalması (kW/m)} = 9.81 \times 0.92 \times 0.98 Q_{\text{maks}} \times s_{(\text{maks})}$$

$$= 0.018 Q_{\text{maks}}^3 D^{-16/3}$$

Daimi teçhizatın (santral + şalt sahası için) birim tesis bedeli 2007 yılı için: 700 YTL/kW kabul edilerek;

$$\text{Daimi teçhizatın Tesis Bedeli (TB)} : 12.6 \times Q_{\text{maks}}^3 D^{-16/3} \text{ (YTL/m)}$$

$$\text{Daimi teçhizatın Proje Bedeli (PB)} : 1.05 \text{ (TB) YTL/m}$$

$$\text{Daimi teçhizatın Yatırım Bedeli (YB)} : 1.095 \text{ (PB) YTL/m}$$

Daimi teçhizat için;

- Amortisman faktörü : 0.09603
- İşletme –bak. faktörü : 0.015
- Yenileme faktörü : 0.004

Azalan daimi teçhizat miktarının yıllık gideri,

$$= (\text{YB}) \times 0.09603 + (\text{TB}) (0.015 + 0.004)$$

$$= 1.63 Q_{\text{maks}}^3 D^{-16/3} \text{ (YTL/m)}$$

vi) Basınçlı Çalışan Dairesel Kesitli Betonarme Tünelin Ekonomik Çapı;

Bunun için birim uzunluktaki tünelin yıllık gideri (YTL/m) ile yine birim uzunluktaki tünelin sürtünme kaybının sebep olduğu yıllık ortalama enerji kaybı (YTL/m) toplanır. Bu toplamdan birim uzunluktaki tünelde (s_{ort}) düşü kaybından dolayı daimi teçhizatın yıllık giderinde (YTL/m) meydana gelen azalma düşülerek yıllık ortalama toplam gider (kayıp) YTL/m hesaplanır.

Buradan hareketle, yıllık ortalama toplam gideri minimum yapacak çap, ekonomik tünel çapını belirlemiş olacaktır.

Yıllık toplam gider (kayıp) YTL/m

$$(YTG) = 67.84 (D)^{1.676} (L_t)^{0.168} + (18.76 \alpha^3 - 1.63) Q_{maks}^3 D^{-16/3}$$

$$\frac{\partial(YTG)}{\partial D} = 113.70 (D)^{0.676} (L_t)^{0.168} - 16/3 (18.76 \alpha^3 - 1.63) Q_{maks}^3 D^{-19/3} = 0$$

$$D_{ek} = (0.88\alpha^3 - 0.08)^{0.143} Q_{maks}^{0.428} (L_t)^{-0.024} \quad (1)$$

Enerji çizgisinin maksimum eğimi

$$S_{(maks)} = 2.018 \times 10^{-3} \times Q_{maks}^2 \times D_{ek}^{-16/3} \quad \text{veya}$$

$$S_{(maks)} = 2.018 \times 10^{-3} (0.88 \alpha^3 - 0.08)^{-0.763} Q_{maks}^{-0.282} (L_t)^{0.128} \quad (2)$$

Tünelde maksimum hız kontrolü

$$V_{maks} = \frac{Q_{maks}}{0.7854 D_{ek}^2} \leq 3 \text{ m/s olmalı} \quad (3)$$

ÖRNEK 1

Bir kanal santralının basınçlı çalışan su iletim hattında betonarme kaplamalı dairesel kesitli tünelin ekonomik çapının belirlenmesi;

Veriler;

- $Q_{maks} = 60 \text{ m}^3/\text{s}$
- debi-sürekliik eğrisinden $\frac{Q_{ort}}{Q_{maks}} = 0.91$
- Tünel toplam uzunluğu 7 km.dir. Tünelin açılmasında kullanılan yaklaşım galerileri ile tünel üç parçaya bölünmüştür (2.1 + 2.6 + 2.3 km). Yaklaşım galerilerinin uzunluğu, (0.3+0.25 km)dir.

Tünel uzunluk zammına esas (L_t) parçasının hesabı;

$$1. \text{ parça için } L_{t1} = 2.1 + 0.3 = 2.4 \text{ km}$$

$$2. \text{ parça için } L_{t2} = 2.6 + 0.3 + 0.25 = 3.15 \text{ km}$$

$$3. \text{ parça için } L_{t3} = 2.3 + 0.25 = 2.55 \text{ km}$$

$$\text{Tünel uzunluk zamanı hesabının esas ortalama } (L_t) = \frac{1}{3} (2.4 + 3.15 + 2.55)$$

= 2.7 km alınacaktır.

$$D_{ek} = (0.88 \times 0.91^3 - 0.08)^{0.143} (60)^{0.428} (2.7)^{-0.024}$$

$D_{ek} \cong 5.30 \text{ m}$ kabul edilmiştir.

$$s_{maks} = 2.018 \times 10^{-3} \times 60^2 \times 5.30^{-16/3}$$

$$\cong 0.001$$

$$v(\text{maks})_t = \frac{60}{0.7854 \times 5.30^2} = 2.50 \text{ m/s} < 3, \text{ seçilen çap (5.30 m.) uygundur}$$

ÖRNEK 2

Dairesel kesitli ve basınçlı çalışan bir su iletim hattının özellikleri aşağıda verilmiştir.

- $Q_{maks} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$
- Yıllık türbinlenen ortalama su miktarı (debi-sürekliik eğrisinden);

$$V = 1500 \times 10^6 \text{ m}^3$$

- Tünel uzunluğu: 930 m

Tünelin ekonomik çapının seçimi;

$$Q_{ort} = 1500 \times 10^6 / 31.536 \times 10^6$$

$$= 47.56 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\alpha = \frac{47.56}{50} = 0.95$$

Tünel uzunluk zammına esas tünel parçası uzunluğu $L_t = 0.93 \text{ km} < 1$ olduğundan uzunluk zammı dikkate alınmayacaktır.

$$D_{ek} = (0.88 \times 0.95^3 - 0.08)^{0.143} (50)^{0.428}$$

$$= 5.10 \text{ m}$$

$$V_{(maks)} = \frac{50}{0.7854 \times 5.10^2}$$

$$= 2.45 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}, \text{ seçilen tünel çapı (5.10 m) uygundur.}$$

2.3. Serbest Akımlı Atnalı Kesitli Betonarme Tünelde Ekonomik Tünel Çapı

Tünelin projelendirilmesinde gözönüne alınacak yük durumu paragraf 2.2'de açıklanmıştır.

- Tarif ve Kabuller

D: tünel çapı (m)

d/D: maksimum doluluk oranı=0.82

0.82 doluluk oranında alan=0.7332 D^2 (Kaynak 10)

s_t . Tünel eğimi= $1.77 \times 10^{-3} Q_{maks}^2 D^{-16/3}$

- Tünelin Tesis Maliyetleri

Paragraf 2.2'de açıklandığı gibi.

- Tünelin Yıllık Gideri

Paragraf 2.2'den

$$(YG) = 67.84 (D)^{1.676} (L_t)^{0.168} \text{ YTL/m}$$

iv) Tünelde Sürtünme Kaybından Dolayı Meydana Gelen Yıllık Enerji Kaybı

$$(\text{kWh/yıl/m}) = 9.81 \times 0.92 \times 0.98 \frac{V}{3600} \times s$$

$$\frac{Q_{\text{ort}}}{Q_{\text{maks}}} = \alpha \text{ kabulünden}$$

$$= 137.14 Q_{\text{maks}}^3 \alpha D^{-16/3}$$

Birim enerji faydası : 0.12 YTL/kWh

$$\text{Enerji kaybı (YTL/yıl/m)} = 16.46 Q_{\text{maks}}^3 \alpha D^{-16/3}$$

v) Birim Uzunluktaki Tünelde Sürtünmeden Dolayı (s) Düşü Miktarının Daimi Teçhizata Etkisi;

$$s = 1.77 \times 10^{-3} Q_{\text{maks}}^2 D^{-16/3}$$

Olduğuna göre paragraf 2.2'den yararlanılarak azalan daimi teçhizat miktarının yıllık gideri;

$$= 1.45 \times Q_{\text{maks}}^3 D^{-16/3}$$

vi) Serbest Akımlı Atnalı Kesitli Betonarme Tünelde Ekonomik Çap

Yıllık toplam gider (kayıp) YTL/m

$$(YTG) = 67.84 (D)^{1.676} (L_t)^{0.168} + (16.42 \alpha - 1.43) Q_{\text{maks}}^3 D^{-16/3}$$

$$\frac{\partial(YTG)}{\partial D} = 113.7 (D)^{0.676} (L_t)^{0.168} - \frac{16}{3} (16.42 \alpha - 1.43) Q_{\text{maks}}^3 D^{-19/3} = 0$$

$$D_{ek} = (0.77 \alpha - 0.07)^{0.143} Q_{maks}^{0.428} (L_t)^{-0.024} \quad (4)$$

Atnalı kesitli tünelin eğimi,

$$S_{ek} = 1.77 \times 10^{-3} \times Q_{maks}^2 \times D_{ek}^{-16/3}$$

veya

$$S_{ek} = 1.77 \times 10^{-3} (0.77 \alpha - 0.07)^{-0.763} (Q_{maks})^{-0.282} (L_t)^{0.128} \quad (5)$$

ÖRNEK 3

Bir kanal santralının serbest akımlı su iletim hattı üzerinde bulunan atnalı kesitli tünelin ekonomik çapı ve tünel eğiminin belirlenmesi;

- Maksimum doluluk oranı $d/D=0.82$
- $Q_{maks}=60 \text{ m}^3/\text{s}$, $\alpha= 0.91$
- Tünel uzunluğu $L=1.3 \text{ km}$ olup tünel, karşılıklı iki aynadan açılacaktır.

$$D_{ek} = (0.77 \times 0.91 - 0.07)^{0.143} \times 60^{0.428} \times 1.3^{-0.024}$$

$\cong 5.40 \text{ m}$ seçilmiştir.

$$V_{maks} = \frac{60}{0.7332 \times (5.40)^2} = 2.81 \text{ m/s} < 3.0, \text{ seçilen çap uygundur.}$$

$$\text{Tünel eğimi } s_t = 1.77 \times 10^{-3} (60)^2 (5.40)^{-16/3}$$

$$\cong 8 \times 10^{-4}$$

2.4. Trapez ve Duvarlı (Dikdörtgen Kesitli) Enerji Kanallarında Ekonomik Eğim

Su iletim hattı üzerinde yer alan kanal, duvarlı kanal ve tünel gibi sanat yapılarının yerleşimi ve tertibi tamamen arazinin yapısına ve enine eğimine bağlıdır. Yaptığımız çalışmalarda genel olarak şu tertip şekli kullanılmıştır.

- Arazinin enine eğimi (e) \leq %50 \longrightarrow Trapez kanal
- Arazinin enine eğimi %50 $<$ (e) \leq %70 \longrightarrow Duvarlı kanal
- Arazinin enine eğimi (e) $>$ %70 \longrightarrow Tünel

Kanal ve duvarlı kanalın maliyeti ise arazinin enine eğimi ve zeminin klasına göre büyük değişkenlik göstermektedir.

Yaptığımız değerlendirmelere göre (Kaynak 9), bir fikir vermek amacıyla, arazi enine eğiminin maliyet üzerine olan etkisi yaklaşık olarak aşağıda belirtilmiştir. Trapez kanal için arazinin enine eğiminin %30 ve duvarlı kanalda ise arazi enine eğiminin %70 olması durumlarında kanal maliyetinin temsili (rölatif) değerinin 1.00 kabul edilmesi halinde enine eğime göre kanal maliyetinde değişim oranları aşağıda verilmiştir.

| Arazinin enine eğimi % | Trapez kanalın rölatif maliyetinde değişim oranları | Duvarlı kanalın rölatif maliyetinde değişim oranları |
|------------------------|---|--|
| 20 | 0.80 | |
| 30 | 1.00 | |
| 40 | 1.20 | |
| 50 | 1.40 | 0.70 |
| 60 | | 0.85 |
| 70 | | 1.00 |

Bu karşılaştırmada zemin klasının değişmediği kabul edilmiştir.

Arazinin ortalama enine eğiminin trapez kanal için %30 ve duvarlı kanal için yaklaşık %70 civarında olması ve zemin klasının;

- %30 kuskülük
- %60 yumuşak kaya ve
- %10'nun kaya durumu için aşağıda bu kanallara ait maliyet fonksiyonu çıkarılmıştır. Bunun için üzerinde çalıştığımız çok sayıda projenin değişik kapasite ve eğimlerine ait kanal ve duvarlı kanalların metrajlarına dayalı olarak bulunan birim (YTL/m) maliyetlerinden yararlanılmıştır. Önce farklı yıllara göre hesaplanmış olan bu kanalların birim tesis bedelleri (TB) fiyat indeksleri ile 2007

yılına yani aynı baza getirilmiştir. Dikkate alınan 19 örnekleme birim tesis bedellerinin (YTL/m) maksimum debi (Q_{maks}) ve kanal eğimi (s)'e göre değişimi araştırılmıştır. Bunun sonucunda trapez kanal için ($Q_{maks} s^{-0.35}$) ile (TB) arasında çok yakın bir ilişki olduğu görülmüştür. Yapılan çoklu korelasyon neticesinde ($r= 0.98$) trapez kanalın 2007 yılı tesis bedeli için aşağıda verilen maliyet fonksiyonu elde edilmiştir.

$$TB (YTL/m) = 17.6 (s)^{-0.24} (Q_{maks})^{0.686} \quad (6)$$

Aynı şekilde duvarlı kanal için ise ($Q_{maks} s^{-0.45}$) ile (TB) arasında yakın ilişki ($r=0.99$) olduğu tesbit edilmiş ve tesis bedeli için aşağıda verilen maliyet fonksiyonu bulunmuştur.

$$TB (YTL/m) = 159.6 (s)^{-0.202} (Q_{maks})^{0.449} YTL/m \quad (7)$$

Kanal hidrolik hesaplarında Manning pürüzlük katsayısı $n=0.016$ alınmıştır.

i) Trapez Kanalın Tesis Maliyetleri

$$(TB) = 17.6 (s)^{-0.24} \times (Q_{maks})^{0.686} \quad YTL/m$$

$$(PB) = 1.10 (TB) \times (Q_{maks})^{0.686} \quad YTL/m$$

$$(YB) = (1.095) (PB) \times (Q_{maks})^{0.686} \quad YTL/m$$

ii) Trapez ve Duvarlı Kanalın Yıllık Giderleri (YTL/m)

a) Trapez Kesitli Kanal için,

- Amortisman faktörü : 0.09603

- İşletme ve bakım faktörü : 0.02

- Yenileme faktörü : 0.00003

Trapez kanalın yıllık toplam gideri,

$$(TG) = (1.095 \times 1.10 \times 0.09603 + 0.02 + 0.00003) 17.6 (s)^{-0.24} (Q_{maks})^{0.686}$$

$$= 2.39 \times (s)^{-0.24} (Q_{maks})^{0.686} \quad (YTL/m)$$

b) Duvarlı (dikdörtgen kesitli) Kanal için

$$(TG)=21.67 (s)^{-0.202} (Q_{maks})^{0.449} \quad (YTL/m)$$

Su iletim hattında (trapez ve duvarlı kanalda) sık sık eğim değişikliğinden kaçınmak için kanal uzunluğu boyunca aynı eğim kullanılacaktır.

Buna göre ekonomik kanal eğiminin bulunmasında, tesis maliyetleri ve yıllık giderlerin hesabında bu kanalların uzunlukları ve toplam kanal uzunluğuna oranları dikkate alınacaktır. Aynı kanal eğiminde duvarlı kanalın tesis bedelinin, trapez kesitli kanalın tesis bedeline oranı incelendiğinde bu oranın ortalama 3 civarında olduğu görülmüştür. Küçük debilerde (10~20 m³/s gibi) bu oran 3'den büyük değere ulaşırken büyük debilerde (80~100 m³/s gibi) yaklaşık olarak 2.50 civarında seyretmektedir.

Buna göre,

L_{tr} =su iletim hattında trapez kanalın uzunluğu (m)

L_d = su iletim hattında duvarlı kanalın uzunluğu (m)

$$\frac{L_{tr}}{L_{tr} + L_d} = \beta \text{ Yıllık giderde trapez kanalın hissesi}$$

$$\frac{3L_d}{L_{tr} + L_d} = 3 (1-\beta) \text{ yıllık giderde trapez kanal bazında duvarlı kanalın yıllık gider hissesi}$$

s: trapez ve duvarlı kanalın ortak eğimi

Buradan yıllık gider;

$$(TG)=2.39 \times (s)^{-0.24} (Q_{maks})^{0.686} (3-2\beta) \quad (YTL/m)$$

Tamamen trapez kanal olursa $\beta=1$ olur ve son terim ortadan kalkar. Tamamen duvarlı kanal olması durumunda ise $\beta=0$ olacağından son terim 3 olur.

- iii) Enerji Kanalında Sürtünme Kaybından Dolayı Meydana Gelen Yıllık Ortalama Enerji Kaybı

$$(kWh/yıl/m)=9.81 \times 0.92 \times 0.98 \frac{31.536 \times 10^6 \times Q_{ort}}{3600} \times (s)$$

$$= 77\,479 \times Q_{ort} \times (s)$$

$Q_{ort} = \alpha Q_{maks}$; ve birim enerji faydası: 0.12 YTL/kWh

Enerji kaybı (YTL/yıl/m) = 9297 (Q_{maks}) α (s)

- iv) Enerji Kanalında (s) Düşü Kaybının Daimi Teçhizata Etkisi

$$\text{Güç (kW/m)} = 9.81 \times 0.92 \times 0.98 Q_{maks} \times (s)$$

$$= 8.845 Q_{maks} (s)$$

Paragraf 2.2 (v)'den yararlanılarak, azalan daimi teçhizatın yıllık gideri;

$$(1.05 \times 1.095 \times 0.09603 + 0.015 + 0.004) 8.845 \times 700 \times Q_{maks} \times (s)$$

$$= 801 Q_{maks} \times s \quad (\text{YTL/m})$$

- v) Enerji Kanalında Ekonomik Ortak Eğim;

Yıllık Toplam Gider (kayıp) YTL/m

$$(TYG) = 2.39(s)^{-0.24} (Q_{maks})^{0.686} (3-2\beta) + 9297 (Q_{maks}) (s) \alpha - 801 Q_{maks}(s)$$

$$\frac{\partial(TYG)}{\partial s} = -0.57(s)^{-1.24} (Q_{maks})^{0.686} (3-2\beta) + Q_{maks} (9297\alpha - 801) = 0$$

$$s_{ek} = Q_{maks}^{-0.253} (16310 \alpha - 1405)^{-0.806} (3-2\beta)^{0.806} \quad (8)$$

Bu ifade, trapez ve duvarlı kanaldan oluşan su iletim hattında ortak ekonomik kanal eğimini vermektedir.

ÖRNEK 4

Bir kanal santralında su iletim hattı uzunluğunun 10500 m.si trapez kesitli ve 4500 m.si ise duvarlı (dikdörtgen kesitli) kanaldır. Arazinin ortalama enine

eğimi trapez kanal için %30 duvarlı kanal için %65~70 civarındadır. Zemin yapısı %30 küskülük, %60'ı yumuşak kaya ve %10'u kayadır.

$$Q_{\text{maks}}=60 \text{ m}^3/\text{s}, \quad \alpha=0.85, \quad \beta=\frac{10500}{10500+4500}=0.70$$

- Ekonomik kanal eğiminin belirlenmesi;

$$s_{\text{ek}}=(60)^{-0.253} (16310 \times 0.85 - 1405)^{-0.806} (3-2 \times 0.70)^{0.806}$$

$$\cong 2.5 \times 10^{-4} \text{ kabul edildi}$$

ÖRNEK 5

$$Q_{\text{maks}}=68.50 \text{ m}^3/\text{s} \quad \alpha=\frac{Q_{\text{ort}}}{Q_{\text{maks}}}=0.87$$

Su iletim kanalının %72 si trapez kesitli kanal %28'i duvarlı (dikdörtgen kesitli) kanal (arazi yapısı örnek 1'le aynı)

- Su iletim kanalının ekonomik eğimi,

$$s_{\text{ek}}=(68.5)^{-0.253} (16310 \times 0.87 - 1405)^{-0.806} (3-2 \times 0.72)^{0.806}$$

$$\cong 2.50 \times 10^{-4} \text{ kabul edildi}$$

Trapez kanalın (2007 yılı için) tesis bedeli,

$$(TB) = 17.60 (2.5 \times 10^{-4})^{-0.24} (68.50)^{0.686}$$

$$\cong 2300 \text{ YTL/m}$$

- Duvarlı kanalın tesis bedeli,

$$(TB) = 159.60 (2.5 \times 10^{-4})^{-0.202} (68.50)^{0.449}$$

$$\cong 5700 \text{ YTL/m}$$

$Q_{\text{maks}}=68.5 \text{ m}^3/\text{s}$ için aynı kanal eğiminde duvarlı kanalın tesis maliyetinin trapez kanal tesis maliyetine oranı, paragraf 2.4.(b)'de belirtildiği üzere, yaklaşık olarak 2.5 bulunmuştur.

3. EKONOMİK ÇEVİRME DEBİSİNİN (Q_{maks} 'ın) BELİRLENMESİ

3.1. Giriş

Bölüm 2'de, incelemeye alınan bir su iletim hattında herhangi bir (Q_{maks}) çevirme debisi için ekonomik tünel çapı ve iletim kanalının ekonomik eğimi belirlenmiş ve 1 m uzunluktaki su iletim hattının tesis maliyetleri ve yıllık giderleri hesaplanmıştı. Bilindiği üzere proje için ekonomik çevirme debisi (Q_{maks})'ın ise optimizasyon sonucu belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için, incelemeye alınan her Q_{maks} çevirme debisine ait projenin bütün kısımlarının detaylı metraj ve keşiflerine dayanan tesis maliyetleri ve yıllık giderlerinin hesaplanması gerekmektedir.

Ancak, burada yapılan bazı kabullerle ve bilhassa projenin ön değerlendirilmesinde kullanılacağı gözönünde alınarak arzu edilen sonuca kısa yoldan ulaşılması mümkündür. Yapılan kabuller her Q_{maks} alternatifi için aynı bazda olduğundan sonuca yeterli bir hassasiyetle yaklaşılabilecektir.

Kanal (nehir) santrallarını meydana getiren kısımlar paragraf 1'de verilmişti. Bunlardan (c) su iletim hattı, (g) cebri borular, (i) santral ve şalt sahası daimi teçhizatı kısımları ile yıllık türbinlenen su miktarı her Q_{maks} alternatifi için değişkenlik göstermektedir. Projenin diğer kısımlarında (a, b, d, e, f, h, i ve k) olabilecek revizyonlar küçük mertebede olup neticeyi etkilemeyecektir. Ancak (a) ulaşım ve servis yolları ile (k) ENH hattı bağlantısı tesis maliyetleri, bağlantının uzunluğuna ve arazinin topografik koşullarına göre çok büyük değişimler gösterebilir. Gerçekte böyle bir durum ekonomik çevirme debisinin belirlenmesinde, proje içinde, her alternatifte mevcut ve aynı olacağından alternatif seçimini etkilemeyecektir. Ancak seçilen alternatif için keşif ve metrajlara dayalı tesis maliyetlerinin hesap edilerek projenin ekonomik yapısının buna göre belirlenmesi gerekecektir.

Daha önce hazırladığımız fizibilite raporları üzerinde yaptığımız değerlendirmeler sonucu, ulaşım ve servis yolları ile ENH tesis maliyetlerinin, normal şartlarda, projenin toplam tesis maliyetinin sırası ile yaklaşık %5~%3'ü civarında olduğu görülmüştür.

Kamulaştırma ve relokasyon bedelleri ise çok farklı değerler alabileceğinden bu çalışmada dikkate alınmamıştır.

Yıllık türbinlenen su miktarı, seçilen Q_{maks} 'a bağlı olarak, akarsuyun su çevirme eksenini için hazırlanan debi-süreklilik eğrisinden bulunacaktır. Proje

optimizasyonunda veya en ekonomik alternatifin seçiminde (net bugünkü değer, gelir/gider oranı, yıllık net gelir, iç karlılık oranı, birim enerji maliyeti ve projenin karlılık oranı gibi) değişik proje değerlendirme teknikleri kullanılabilir. Burada yıllık net gelir metodu kullanılacaktır. Buna göre incelenen değişik Q_{maks} alternatifleri arasında yıllık net geliri (yıllık gelir – yıllık gider) maksimum yapan alternatif seçime hak kazanacaktır.

Tarif ve kabuller:

Şekil 1 ve Şekil 2'den

H_b : (1) – (2) kotları, brüt düşü (m)

H_n : $H_b - (\Delta H_1 + \Delta H_2)$ - (Lokal Yük kayıpları), net düşü (m)

ΔH_1 : Su iletim hattında sürtünme kaybı (m)

ΔH_2 : Cebri boruda sürtünme kaybı (m)

Q_{maks} : İncelenen alternatifin maks. çevirme debisi (m^3/s)

V : Q_{maks} 'a göre enerjiye çekilen (türbinlenen) yıllık su miktarı (m^3)

KG : Kurulu güç (kW) = $8.845 Q_{maks} H_n$

E : Yıllık üretilen enerji miktarı (kWh)

$$: 8.845 \frac{V}{3600} H_n = 2.456 \times 10^{-3} \times V \times H_n$$

L : Su iletim hattı uzunluğu ($L_{tr}+L_d+L_t$) (m)

L_{tr} : Trapez kanal uzunluğu (m)

L_d : Duvarlı kanal uzunluğu (m)

L_t : Tünel uzunluğu (m)

$$\frac{L_{tr}}{L_{tr} + L_d} = \beta$$

$$Q_{ort} : \frac{V}{31.536 \times 10^6} \quad \text{yıllık ort. Debi (m}^3\text{/s)}$$

$$\frac{Q_{\text{ort}}}{Q_{\text{maks}}} = \alpha$$

s_{tr} : Ekonomik kanal eğimi

s_t : Serbest akımlı ekonomik temel eğimi

L_c : Cebri boru uzunluğu (m)

Optimizasyon çalışmalarında kullanılmak üzere ekonomik tünel çapı ve iletim kanalının ekonomik eğimi paragraf 2'de verilmiştir.

Cebri boruda ekonomik çap seçimi ise aşağıda açıklanmıştır.

3.2. Açıkta Döşenmiş Sabit Et Kalınlıklı ve Sabit Çaplı Çelik Cebri Boruda Ekonomik Çap Seçimi

Tarif ve Kabuller:

- t (mm) cebri boru et kalınlığı = $\frac{H_o D}{20\sigma\eta}$
- $\sigma = (s_t \text{ 37 akma gerilmesi}) \times \frac{2}{3} = 1.47 \text{ t/cm}^2$
- η : kaynak verimi (0.95)
- H_o : brüt düşü (m)
- D : cebri boru çapı (m)
- Su darbesi etkisi: %40
- t (mm) = $\frac{1.4H_o D}{20 \times 1.47 \times 0.95} \cong 0.05 (H_o D)$
- hesapla bulunan t (mm) et kalınlığına 2 mm pas payı ilave edilir.
- cebri boru ağırlığı (kg/m) : $\pi D \times 7.85 \times t$ (mm)
- cebri boru (mesnetleri, tesbit kütleleri, inş. işleri) için %10 ilave

- min. et kalınlığı t (min) = 6 D kabul edilmiştir
 $6D = 0.05 H_o D$ den $H_o < 120$ m için, t (mm) = 6D
 $H_o \geq 120$ m için, t (mm) = 0.05 ($H_o D$); H_o ve D (m. Olarak)
- DSİ Barajlar ve HES Dairesi Bşk.2007 yılı Birim Fiyatlarından, Cebri boru birim fiyatı (B-23 D/4a): 7.01 YTL/kg verilmiştir.
- 2007 yılı için birim enerji faydası: 0.12 YTL/kWh (paragraf 2.2'den)
- Q_{maks} : cebri borudan geçen maksimum debi (m^3/s)
- Q_{ort} : cebri borudan geçen yıllık ortalama debi (m^3/s)
- V : yıllık türbinlenen ort. su miktarı (m^3)
- s: enerji çizgisi eğimi (hidrolik eğim)
- n : Manning pürüzlülük katsayısı, lokal yük kayıplarını da karşılamak üzere:0.012

A) $H_o \geq 120$ m için Hesap:

i) Cebri boru tesis maliyetleri

Keşif Bedeli (KB): $\pi D \times 7.85 \times 0.05 (H_o D) \times 1.1 \times 7.01 = 9.51 (H_o D)^2$ YTL/m

Tesis Bedeli (TB): 1.10 (KB) , bilinmeyenler için %10

Proje Bedeli (PB): 1.05 (TB) , proje bed. için %5

Yatırım Bedeli (YB): $(1.095)^{0.5}$ (PB) , inş. süresi: 1 yıl

ii) Cebri borunun yıllık giderleri

Amortisman faktörü = 0.09603

İşletme-bakım faktörü = 0.02

Yenileme faktörü = 0.0008

(YG) = (YB) 0.09603 + (0.02 + 0.0008) TB

= 1.32 ($H_o D^2$) YTL/m

iii) Cebri boruda Sürtünme Kaybından Dolayı Meydana Gelen Enerji Kaybı

$$V \text{ (m}^3\text{/yıl)} = Q_{\text{ort}} \times 31.536 \times 10^6$$

$$s = 1.482 \times 10^{-3} \times Q_{\text{ort}}^2 D^{-16/3}$$

$$\text{(kWh/yıl)} = 9.81 \times 0.92 \times 0.98 \frac{V}{3600} \times s$$

$$\frac{Q_{\text{ort}}}{Q_{\text{maks}}} = \alpha$$

$$\text{(kWh/yıl)} = 114.82 Q_{\text{maks}}^3 \alpha^3 D^{-16/3}$$

$$\text{Enerji kaybı (YTL/yıl/m)} = 13.78 \times Q_{\text{maks}}^3 \alpha^3 D^{-16/3}$$

iv) Bir Metre Uzunluktaki Cebri Boruda Q_{maks} 'ın Yük Kaybının Daimi Teçhizata Etkisi

$$\text{(kW/m)} = 9.81 \times 0.92 \times 0.98 \times Q_{\text{maks}}(s)$$

$$= 0.013 Q_{\text{maks}}^3 D^{-16/3}$$

$$\text{TB (YTL/m)} = 0.013 \times Q_{\text{maks}}^3 D^{-16/3} \times 700 \text{ (YTL/kW)}$$

$$\text{PB (YTL/m)} = 1.05 \text{ (TB)}$$

$$\text{YB (YTL/m)} = (1.095)^{0.5} \text{ (PB)}$$

$$\text{Yıllık gideri (YTL/m)} = \text{YB} \times 0.09603 + \text{TB} \times 0.028 = 1.21 \times Q_{\text{maks}}^3 D^{-16/3}$$

v) Ekonomik Cebri Boru Çapı

$H_o \geq 120$ m. için,

Yıllık toplam gider (kayıp) YTL/m

$$\text{(YTG)} = 1.32 (H_o D^2) + 13.78 Q_{\text{maks}}^3 \alpha^3 D^{-16/3} - 1.21 Q_{\text{maks}}^3 D^{-16/3}$$

$$\frac{\partial(\text{YTG})}{\partial D} = 2.64 H_0 D - \frac{16}{3} Q_{\text{maks}}^3 D^{-19/3} (13.78 \alpha^3 - 1.21) = 0$$

$H_0 \geq 120$ m. ve $\alpha > 0.45$ için

Ekonomik cebri boru çapı;

$$D_{\text{ek}} = (27.84 \alpha^3 - 2.44)^{0.136} Q_{\text{maks}}^{0.409} H_0^{-0.136} \quad (9)$$

ÖRNEK 6 ($H_0 \geq 120$ m için)

$H_0 = 120$ m, $Q_{\text{maks}} = 170$ m³/s, $Q_{\text{ort}} = 136$ m³/s

$$\alpha = \frac{136}{170} = 0.80$$

Açıkta döşenmiş çelik cebri boru için

$$D_{\text{ek}} = (27.84 \times 0.80^3 - 2.44)^{0.136} (170)^{0.409} (120)^{-0.136} \cong 6.00 \text{ m}$$

Cebri boru et kalınlığı: $0.05 \times 120 \times 6.00 + 2 = 38$ mm

Cebri boruda takviye çemberleri kullanılarak bu kalınlık azaltılabilir.

Cebri boruda maks. hız $v = 6.00$ m/s

B) $H_0 < 120$ m için Hesap:

$$t(\text{min}) = 6D$$

i) Cebri Boru Tesis Maliyetleri

$$(\text{KB}) = \pi D \times 7.85 \times 6D \times 1.1 \times 7.01$$

$$= 1141 D^2 \text{ YTL/m}$$

$$(\text{TB}) = 1.1 (\text{KB}), (\text{PB}) = 1.05 (\text{TB}), (\text{YB}) = (1.095)^{0.5} (\text{PB})$$

ii) Cebri Borunun Yıllık Gideri

$$(\text{YG}) = (\text{YB}) \times 0.09603 + (0.02 + 0.0008) (\text{TB})$$

$$= 158.48 D^2 \text{ YTL/m}$$

iii) Enerji kaybı

$$(YTL/yıl/m) = 13.78 Q_{maks}^3 \alpha^3 D^{-16/3}$$

iv) Daimi Teçhizat Etkisi

$$(YTL/yıl/m) = 1.21 x Q_{maks}^3 x D^{-16/3}$$

$H_o < 120$ m için ekonomik çap,

$$(TYG) = 158.48 D^2 + 13.78 Q_{maks}^3 \alpha^3 D^{-16/3} - 1.21 Q_{maks}^3 x D^{-16/3}$$

$$\frac{\partial(TYG)}{\partial D} = 316.96 D - \frac{16}{3} Q_{maks}^3 \alpha^3 D^{-19/3} (13.78 \alpha^3 - 1.21) = 0$$

$H < 120$ m ve $\alpha > 0.45$ için

Ekonomik cebri boru çapı

$$D_{ek} = (0.232 \alpha^3 - 0.020)^{0.136} Q_{maks}^{0.409} \quad (10)$$

ÖRNEK 7

$$Q_{maks}=60 \text{ m}^3/\text{s}, Q_{ort}=48 \text{ m}^3/\text{s}, \alpha= 0.80, H_o=45 \text{ m}$$

İki cebri boru kullanılacağına göre hesap;

$$q_{maks}=60/2=30 \text{ m}^3/\text{s}, q_{ort}=48/2=24 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_o=45 \text{ m} < 120 \text{ m}$$

$$D_{ek} = (0.232 x 0.8^3 - 0.019)^{0.136} (30)^{0.409}$$

$$= 2.95 \text{ m}$$

$$\text{Cebri boru et kalınlığı: } 6x2.95+2 = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Cebri boruda maks. } V=4.4 \text{ m/s}$$

$$\alpha= 1.00 \text{ olduğu takdirde } D_{ek}=3.25 \text{ m}$$

ÖRNEK 8 (iki cebri boru)

$$Q_{maks}=68.5 \text{ m}^3/\text{s}, Q_{ort}=55 \text{ m}^3/\text{s}, \alpha=0.80, H_o<120 \text{ m}$$

İki cebri boru kullanılacağına göre hesap;

$$D_{ek} = (0.232 \times 0.80^3 \times 0.020)^{0.136} (68.5/2)^{0.409}$$
$$= 3.10 \text{ m}$$

$$\text{Cebri boru et kalınlığı} = 6 \times 3.10 + 2 \cong 20 \text{ mm}$$

proje için maksimum hız;

$$v_{maks} = \frac{68.5 \times 0.5}{0.7854 \times 3.10^2} = 4.53 \text{ m/s}$$

Giriş yapısında vorteks oluşmasına karşı cebri boru çapı 3.30 m seçilerek hız azaltılmıştır ($v_{maks} \cong 4.00 \text{ m/s}$)

$$\text{Froude sayısı } F_r = 400 (9.81 \times 3.3)^{-0.5} = 0.70$$

3.3. Serbest Akımlı Su İletim Hattında Ekonomik (Q_{maks}) Çevirme Debisinin Seçimi

3.3.1. Projenin Yıllık Gideri (YTL)

i) (Q_{maks}) için Su İletim Hattının Yıllık Gideri

- Atnalı kesitli tünelin yıllık gideri;

Paragraf 2.3'den

$$= (67.84 (D_t)^{1.676} (L_t)^{0.168} \times L \text{ (tünel uzunluğu m.)})$$

L_t : tünel uzunluk zammına esas uzunluk (km)

- Trapez kesitli kanalın yıllık gideri;

$$2.39 (s)^{-0.24} (Q_{maks})^{0.686} \times L_{tr}$$

- Duvarlı kanalın yıllık gideri (trapez kanalın 3 katı);

$$3 [2.39 (s)^{-0.24} (Q_{maks})^{0.686}] L_d$$

ii) Cebri Borunun Yıllık Gideri ($H_b < 120$ m için)

İki cebri boru kullanıldığı takdirde (paragraf 3.2 den)

Bir cebri borunun debisi: $Q_{maks}/2$

D: bir cebri borunun çapı (m)

L_c : cebri boru uzunluğu (m)

Yıllık gider = $2 \times 158.48 (D)^2 \times L_c$,

iii) Santral ve Şalt Sahası Daimi Teçhizatı Yıllık Gideri

KG (kW) = $8.845 (Q_{maks}) H_n$

(TB) = $700 \times (KG) = 6191.5 (Q_{maks}) H_n$

(PB) = $1.05 (TB)$

(YB) = $(1.095) (PB)$, inş. süresi 2 yıl

Yıllık gider = $(YB) \times 0.09603 + (TB) (0.015 + 0.004)$

= $801 (Q_{maks}) H_n$

veya $\cong (K \text{ Güç} \times 91) \text{ YTL}$

iv) Her Alternatifte Aynı Kabul Edilen Yani Değişmeyen Diğer Kısımların Yıllık Toplam Gideri: Sabit bir rakam olarak (Δ) alınacaktır.

İncelenen her Q_{maks} debisi alternatifinde, yani her alternatifte projenin bu kısımlarının (paragraf 1.1 a, b, d, e, f, h, j ve k) ulaşım ve servis yolları, site tesisleri, su çevirme yapısı ve çökeltim havuzu, yükleme havuzu, cebri boru su alma yapısı, santral binası ve şalt sahası inşaatı kuyruksuyu kanalı ve ENH'nın değişmediği kabul edilmiştir.

v) Yıllık Toplam Gider (YTL)

(i) + (ii) + (iii) + (Δ)

3.3.2. Projenin Yıllık Geliri (YTL)

- Su iletim hattında sürtünme kaybı (ΔH_1)

$$\Delta H_1 = s_{ek} \times (L_{tr} + L_d) + s_t \times L_t$$

s_{ek} : Ekonomik kanal eğimi

s_t : Ekonomik tünel eğimi

- Cebri boruda sürtünme kaybı (ΔH_2)

$$\Delta H_2 = 1.482 \times 10^{-3} \times (Q_{ort}) \times D^{-16/3} \times L_c$$

Net düşü $H_n = H_b - (\Delta H_1 + \Delta H_2) - (\text{lokal yük kayıpları})$

Lokal yük kayıpları $\cong (\Delta H_1 + \Delta H_2) \times 0.10$ kabulünden,

- Net düşü $H_n = H_b - (\Delta H_1 + \Delta H_2) \times 1.10$

- Yıllık Enerji Geliri (YTL)

$$= 2.456 \times 10^{-3} \times V \times H_n \times 0.12$$

$$= 0.295 \times 10^{-3} \times V \times H_n$$

Projenin yıllık ortalama enerji geliri; üretilen yıllık ortalama enerjinin, belirlenen (2007 yılı için 0.12 YTL/kWh) birim enerji faydası ile çarpılmasıyla bulunacaktır. Kanal (nehir) santrallerinde genelde depolama, dengeleme olmadığından ayrıca pik güç faydası dikkate alınmamıştır.

3.3.3. Yıllık Net Gelir (YTL)

$$(YNG) = [0.295 \times 10^{-3} \times V \times H_n] - [(i) + (ii) + (iii) + (\Delta)]$$

İncelenen değişik (Q_{maks}) değerleri için hesaplanan yıllık net gelirlerden maksimumu sağlayan çevirme debisi proje için ekonomik Q_{maks} 'ı belirlemiş olacaktır.

Aşağıda verilen örnekler (9,10,...,14) tamamen daha önce üzerinde çalıştığımız ve fizibilite raporlarını hazırladığımız projelerden seçilmiştir. Böylece burada geliştirdiğimiz metodlarla elde edilen sonuçların daha önce metraj ve kesiflere dayalı olarak bulduğumuz sonuçlarla karşılıklı kontrol imkanı sağlanmış olmaktadır.

ÖRNEK 9

Serbest akımlı su iletim hattına sahip bir kanal santralının tertibi için arazide ve büroda yapılan çalışmalar sonucu toplanan bilgiler aşağıda verilmektedir. Bu HES tesisi için;

(1) Ekonomik maksimum çevirme debisinin (Q_{maks}) seçimi

(2) Proje ekonomisinin irdelenmesi

- Brüt düşü = (1) kotu – (2) kotu = 46.87 m

- Serbest akımlı atnalı kesitli tünel uzunluğu (L_t)=1975 m

tüneller parçalı olup maks. tünel parçasının uzunluğu 1 km.nin altında olduğundan tünel uzunluk zammı dikkate alınmayacaktır.

- Trapez kanal uzunluğu: (L_{tr}): 7287 m

arazinin enine eğimi %30 dur.

- Duvarlı kanal uzunluğu (L_d): 1150 m

arazinin enine eğimi yaklaşık %70 dir.

- Su iletim hattının toplam uzunluğu (L): 10412 m

- $L_{tr}+L_d = 8437$ m, $\beta = \frac{7287}{8437} = 0.86$

- Cebri boru uzunluğu $L_c = 2 \times 80$ m (iki cebri boru)

- Su çevirme eksenini için hazırlanan debi-süreklilik eğrisinden değişik (Q_{maks}) debileri için enerjiye çekilen yıllık ortalama su miktarları aşağıda verilmiştir.

| Q_{maks} (m^3/s) | Enerjiye çekilen yıllık ort. su ($10^6 m^3$) | Q_{ort} (m^3/s) | $\alpha = \frac{Q_{ort}}{Q_{maks}}$ |
|---------------------------|---|--------------------------|-------------------------------------|
| 45 | 1370 | 43.44 | 0.96 |
| 50 | 1438 | 45.60 | 0.91 |
| 55 | 1485 | 47.09 | 0.86 |
| 60 | 1521 | 48.23 | 0.80 |

Ekonomik çevirme debisinin seçimi için değişik Q_{maks} debileri ile yapılan inceleme ve bunların sonuçları aşağıda açıklanmıştır.

- Tünel çapı $D_{ek} = (0.77\alpha - 0.07)^{0.413} Q_{maks}^{0.428}$

Tünel uzunluğu 1 km.den küçük olduğundan tünel uzunluk zammı dikkate alınmayacaktır.

$$Q_{maks} = 45 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } D=4.80 \text{ m}, V_{maks}=2.66 < 3 \text{ m/s}$$

$$Q_{maks} = 50 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } D=5.00 \text{ m}, V_{maks}=2.73 \text{ m/s}$$

$$Q_{maks} = 55 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } D=5.20 \text{ m}, V_{maks}=2.77 \text{ m/s}$$

$$Q_{maks} = 60 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } D=5.30 \text{ m}, V_{maks}=2.91 \text{ m/s}$$

- Tünel eğimi $s = 1.77 \times 10^{-3} Q_{maks}^2 \times D^{-16/3}$

$$Q_{maks}=45 \text{ m}^3/\text{s} \text{ s}=8.3 \times 10^{-4}, Q_{maks}=50 \text{ s}=8.3 \times 10^{-4}$$

$$Q_{maks}=55 \text{ m}^3/\text{s} \text{ s}=8.1 \times 10^{-4}, Q_{maks}=60 \text{ s}=8.7 \times 10^{-4}$$

- Cebri boru çapı (iki cebri boru kullanılacaktır.)

$$H_o < 120 \text{ m } D = (0.232 \alpha^3 - 0.019)^{0.136} Q_{maks}^{0.409}$$

$$Q_{maks} = 45/2, D=2.90 \text{ m}, v= 3.40 \text{ m/s}, Q_{maks} = 50/2, D= 2.90 \text{ m}, v= 3.80 \text{ m/s}$$

$$Q_{maks} = 55/2, D=3.00 \text{ m}, V= 3.90 \text{ m/s}, Q_{maks}=60/2, D=3.00 \text{ m}, V= 4.24 \text{ m/s}$$

- Kanal eğimi; $s = Q_{maks}^{-0.253} (16310 \alpha - 1405)^{-0.806} \times (3-2\beta)^{0.806}$

$$\beta=0.86, Q_{maks}=45 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } s \cong 2 \times 10^{-4}$$

$$Q_{maks}=50 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } s \cong 2 \times 10^{-4}$$

$$Q_{maks}=55 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } s \cong 2.5 \times 10^{-4}$$

$$Q_{maks}=60 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } s \cong 2.5 \times 10^{-4}$$

- Net düşü $H_n = H_b - (\Delta H_1 + \Delta H_2) \times 1.10$

$$Q_{\text{maks}} = 45; 50 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için}$$

$$\Delta H_1 = 2 \times 10^{-4} (7287 + 1150) + 1975 \times 8.3 \times 10^{-4} = 3.33 \text{ m}$$

$$\Delta H_2 = 1.482 \times 10^{-3} \times 25^2 \times 2.90^{-16/3} \times 80 = 0.25 \text{ m}$$

$$\text{Net düşü} = 46.87 - (3.33 + 0.25) \times 1.10 = 42.93 \text{ m}$$

| Serbest Akımlı Su İletim Hattında Ekonomik Çevirme Debisinin Seçimi | | | | | | |
|--|---|--|--|--|--------------------|--|
| ÖRNEK:9 | (2007 yılı birim fiyatlarıyla) | | | | | |
| | $Q_{maks}=45 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha = 0.96$ | $50 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.91$ | $55 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.86$ | $60 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.80$ | | |
| 1. Ekonomik tünel çapı (paragraf 2.3) | D_{ek} | 5.00 | 5.20 | 5.30 | | |
| 2. Tünel eğimi (paragraf 2.3) | S_{ek} | 8.3×10^{-4} | 8.1×10^{-4} | 8.7×10^{-4} | | |
| 3. Tünelde maks. hız (paragraf 2.3) | V_{maks} | 2.7 | 2.8 | 2.9 | | |
| 4. Ekonomik kanal eğimi (par. 2.4) | S_{ek} | 2×10^{-4} | 2.5×10^{-4} | 2.5×10^{-4} | | |
| 5. Cebri boru çapı (par. 3.2, 3.3) | D | (iki boru) 2.90 m | (iki boru) 3.00 | (iki boru) 3.00 | | |
| 6. Cebri boruda maks. hız (par. 3.2, 3.3) | V_{maks} | 3.41 m/s | 3.90 | 4.24 | | |
| 7. Brüt düşü (par. 3.1) | H_b | 46.87 m | 46.87 | 46.87 | | |
| 8. Net düşü $H_r=H_b-(\Delta h_1+\Delta h_2) \times 1.10$ (par. 3.3.2) | | 46.87-3.94=42.93 | 42.93 | 42.38 | | |
| 9. Kurulu güç (par. 3.1) | | 17087 kW | 18986 | 20675 | | |
| 10. Yıllık giderler | | | | | | |
| Tünel (L _i : 1975 m) (par. 3.3.1) | | 1857000 YTL | 1988 500 | 2123 600 | 2192 500 | |
| Trapez kan. (L _r =7287 m) (par. 3.3.1) | | 1831500 YTL | 1968800 | 1992200 | 2114700 | |
| Duv. kan. (L _d =1150 m) (par. 3.3.1) | | 867100 YTL | 932100 | 934200 | 1001200 | |
| Cebri boru (l=2x80 m) (par. 3.3.1) | | 213000 YTL | 213 000 | 228 160 | 228 160 | |
| Daimi tech. (par 3.3.1) | | 1554900 YTL | 172700 | 1881400 | 2046700 | |
| Diğer kısımlar için (Δ) | Δ | Δ | Δ | Δ | Δ | |
| Yıllık top. gider | YTL | 6323500 + Δ | 6830100 + Δ | 7158560 + Δ | 7583260 + Δ | |
| 11. Yıllık üretilen enerji (par. 3.1) | GWh | 144.447 | 151.617 | 155.004 | 158.762 | |
| 12. Yıllık enerji geliri | YTL | 17333600 | 18194000 | 18600500 | 19051500 | |
| 13. Yıllık Net Gelir (par. 3.3.3) | YTL | 11010100- Δ | 11363900- Δ | 11441940- Δ | 11468240- Δ | |

Şekil 7'den görüleceği üzere, proje için maksimum net geliri sağlayan (yeni teklif edilen projenin) çevirme debisi $Q_{maks}=60 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir.

Değişik kanal santralleri için hazırladığımız Fizibilite raporları üzerinde yaptığımız değerlendirmeler sonucunda, maksimum net geliri sağlayan çevirme debisine ait yani teklif edilen projede, normal şartlar altında, su iletim hattı + cebri borular + santral ve şalt sahası daimi teçhizatı kısımlarının yıllık toplam giderinin, bütün projenin (kamulaştırma ve relökasyon bedelleri hariç) yıllık toplam giderinin yaklaşık %62'si civarında olduğu görülmüştür. Bu oran, su iletim hattı güzergahında arazi enine eğiminin dik yani su iletim hattının genelde tünel ve duvarlı kanaldan meydana gelmesi halinde %62'nin üzerine çıkarken, kısa su iletim hattı ile büyük düşü temininde veya su iletim hattı güzergah şartlarının çok iyi ve arazi enine eğiminin az olması durumlarında ise bu oran %62'nin altında düşmektedir.

Örnek 9'da verilen HES tesisi için yapılan etüd ve ön çalışmalar sonucunda, ulaşım ve servis yolları tesis maliyetlerinin (projenin yaklaşık %5'i) normal sınırlar içinde kaldığı yani ekstrem bir harcama yaratmadığı belirlenmiştir.

Bun göre, maksimum ($60 \text{ m}^3/\text{s}$) çevirme debisine sahip projenin, tamamen ön değerlendirilmesinde kullanılmak üzere tahmin edilen ekonomik yapısı olarak aşağıda verilmiştir.

- Tahmin edilen yıllık toplam gider: $7583260/0.62=12.231 \times 10^6$ YTL

- Yatırım bedeli: $12.231 \times 10^6 / 0.108=113.25 \times 10^6$ YTL

(projenin yıllık toplam giderinin yatırım bedeline oranı 0.108 alınmıştır)

- Yıllık üretilen ort. enerji miktarı = 158.762×10^6 kWh

- Birim enerji maliyeti = $\frac{12.231 \times 10^6 \times 100}{158.762 \times 10^6} = 7.7$ Ykr/kWh

- Yıllık net gelir (YNG) = $19.051 \times 10^6 - 12.231 \times 10^6$

$$= 6.82 \times 10^6 \text{ YTL}$$

- Gelir/Gider oranının ise 1.56 olacağı tahmin edilmektedir.

ÖRNEK 10

Bir kanal santrali tesisi için yapılan ön etüdler sonucu aşağıda belirtilen veriler elde edilmiştir.

- Su çevirme yapısında kabartılan s.s. kotu: 615.50 m
- Kuyruksuyu s.s. kotu : 582.95
- Brüt düşü $H_b=32.55$ m
- Su iletim hattı toplam uzunluğu 17850 m olup bunun 16350 m.si trapez kanal ve 1500 m.si ise duvarlı kanaldır.

$$\beta = \frac{16350}{17850} = 0.92$$

- Zemin: %30 küskülük, %60 yumuşak kaya ve %10'u ise kayadır.
- Cebri boru uzunluğu 2x100 m dir. (iki cebri boru)
- Arazide ve büroda yapılan ön inceleme sonucunda, ulaşım ve servis yolları ile ENH bağlantısının proje için ekstrem bir yük getirmediği yani tahmin edilen normal bir tesis maliyeti ile gerçekleşeceği anlaşılmıştır.
- Akarsuyun su çevirme eksenini için hazırlanan debi süreklilik eğrisinden değişik Q_{maks} debileri için enerjiye çekilen yıllık ortalama su miktarları aşağıda verilmiştir.

| Q_{maks} (m^3/s) | Enerjiye çekilen yıllık ort.su ($10^6 m^3$) | Q_{ort} (m^3/s) | $\alpha = \frac{Q_{ort}}{Q_{maks}}$ |
|---------------------------|--|-----------------------|-------------------------------------|
| 58.5 | 1708 | 54 | 0.92 |
| 63.5 | 1813 | 57.5 | 0.90 |
| 68.5 | 1876 | 59.5 | 0.87 |

- (1) Bu kanal santrali için ekonomik Q_{maks} çevirme debisinin belirlenmesi,
- (2) Ön değerlendirme için projenin tahmin edilen ekonomik durumunun irdelenmesi,

| Serbest Akımlı Su İletim Hattında Ekonomik Çevirme Debininin Seçimi | | (2007 yılı birim fiyatlarıyla) | | |
|--|------------|---|--|--|
| ÖRNEK:10 | | $Q_{maks}=58.5 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha = 0.92$ | $63.5 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha = 0.90$ | $68.5 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha = 0.87$ |
| 1. Ekonomik tünel çapı (paragraf 2.3) | D_{ek} | - | - | - |
| 2. Tünel eğimi (paragraf 2.3) | S_{ek} | - | - | - |
| 3. Tünelde maks. hız (paragraf 2.3) | V_{maks} | - | - | - |
| 4. Ekonomik kanal eğimi (par. 2.4) | S_{ek} | 2×10^{-4} | 2×10^{-4} | 2×10^{-4} |
| 5. Cebri boru çapı (par. 3.2, 3.3) | | (iki boru) 3.10 m | (iki boru) 3.20 | (iki boru) 3.20 |
| 6. Cebri boruda maks. hız (par. 3.2, 3.3) | V_{maks} | 3.87 m/s | 3.95 | 4.25 |
| 7. Brüt düşü (par. 3.1) | H_b | 32.55 m | 32.55 | 32.55 |
| 8. Net düşü $H_n = H_b - (\Delta h_1 + \Delta h_2) \times 1.10$ (par. 3.3.2) | | 32.55-3.90=28.65 | 28.65 | 28.60 |
| 9. Kurulu güç (par. 3.1) | | 14824 | 16091 | 17328 |
| 10. Yıllık giderler | | | | |
| Tünel (L_i : m) (par. 3.3.1) | | - | - | - |
| Trapez kan. ($L_r=16350$ m) (par. 3.3.1) | | 4919700YTL | 5204400 | 5482200 |
| Duv. kan. ($L_d=1500$ m) (par. 3.3.1) | | 1354000YTL | 1432400 | 1508900 |
| Cebri boru ($l=2 \times 100$ m) (par. 3.3.1) | | 304 600 YTL | 324 600 | 324 600 |
| Daimi tech. (par 3.3.1) | | 1348984 | 1464300 | 1576800 |
| Diğer kısımlar için (Δ) | | Δ | Δ | Δ |
| Yıllık top. gider | YTL | 7927284+ Δ | 8425700+ Δ | 8892500 + Δ |
| 11. Yıllık üretilen enerji (par. 3.1) | GWh | 120.182 | 127.571 | 131.773 |
| 12. Yıllık enerji geliri | YTL | 14421900 | 15308500 | 15812800 |
| 13. Yıllık Net Gelir (par. 3.3.3) | YTL | 6494616 - Δ | 6882800 - Δ | 6920300 - Δ |

Yapılan incelemeden görüleceği üzere teklif edilen proje için maksimum net geliri $Q_{maks} = 68.5 \text{ m}^3/\text{s}$ çevirme debisi sağlamaktadır. Gerçekte Q_{maks} -Net Gelir eğrisi üzerinden seçimin yapılması gerekmektedir. Ancak, yaptığımız değerlendirmede bu eğrinin tepe kısmının çok basık olduğu görülmüş ve $68.50 \text{ m}^3/\text{s}$ çevirme debisinin maksimum net geliri sağladığı anlaşılmıştır.

Projenin ön değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, tahmin edilen ekonomik durum;

- Yıllık gider = $8892500/0.62 = 14.342 \times 10^6$ YTL
- Yatırım bedeli: $14.342 \times 10^6/0.108 = 132.796 \times 10^6$ YTL
- Birim enerji maliyeti = 10.9 Ykr/kWh
- Yıllık net gelir = 1470800 YTL
- Gelir/Gider oranı = 1.10

Burada, aşağıda belirtilen bazı hususların açıklanması faydalı görülmektedir.

- (1) Bu çalışmada verilen tesis maliyetleri ve yıllık giderler DSİ 2007 yılı birim fiyatlarına ve sıfır tenzilatla dayanmaktadır.
- (2) Projenin yatırımcı kuruluş tarafından uygun bir tenzilatla gerçekleştirilmesi durumunda, proje ekonomisi olumlu yönde etkilenmiş olacaktır.

Örnek olarak, yukarıda verilen projenin %15 gibi bir tenzilatla gerçekleştirilmiş olması halinde

- $(YB) = 132.796 \times 10^6 \times (0.85) = 112.877 \times 10^6$ YTL
- Gelir/Gider oranı = $1.10/0.85 = 1.29$ YTL
- Birim enerji maliyeti = $10.9 \times 0.85 = 9.3$ Ykr/kWh olacaktır.

- (3) En önemli husus üretilen enerjinin satış fiyatıdır. Ülkemizde enerjiye olan talep gittikçe artmakta olup pazar problemi yoktur. Yatırımcı kuruluş tarafından gerçekleştirilen HES tesisinin ekonomisi, birinci derecede, üretilen enerjinin satış bedeline bağlı olmaktadır. Bu fiyatın, hidroelektrik enerjinin ülke ekonomisindeki önemi gözönüne alınarak gerçekçi bir şekilde tesbiti HES tesislerinin süratle gelişmesini desteklemiş olacaktır.

ÖRNEK 11

Etüd edilen bir kanal santralında, yapılan büro ve arazi çalışmaları sonucu aşağıda belirtilen bilgiler temin edilmiştir.

- Su çevirme yapısında N.S.S. kotu = 250.00
- Kuyruksuyu s.s. kotu = 184.00
- Brüt düşü (Hb) = 66.00
- Trapez kanal uzunluğu = 675 m
- Trapez kanal güzergahında arazinin enine eğimi = %50
- Serbest akımlı tünel uzunluğu = 1750 m
- Cebri boru uzunluğu = 70 m (tek boru)
- Tesislere ulaşım şartları güç olup (dağlık arazi ve ulaşım yolunun uzunluğu) ulaşım ve servis yollarının yekün tutacak olan tesis maliyetlerinin bu konuda yapılacak detaylı inceleme sonucu belirlenmesi gerecektir.
- Su çevirme eksenini için hazırlanan debi-süreklilik eğrisinden;

| Q_{maks} (m^3/s) | Enerjiye çekilen yıllık ort. su ($10^6 m^3$) | Q_{ort} (m^3/s) | $\alpha = \frac{Q_{ort}}{Q_{maks}}$ |
|---------------------------|---|-----------------------|-------------------------------------|
| 90 | 1750 | 55.49 | 0.62 |
| 110 | 1850 | 58.66 | 0.53 |
| 130 | 1960 | 62.15 | 0.48 |
| 150 | 2040 | 64.69 | 0.43 |

- Proje için ekonomik Q_{maks} debisinin belirlenmesi,

Trapez kanal tesis bedeli için, kanal güzergahında arazinin enine eğimi %50 olduğundan, %30 enine eğim için 1.00 alınan relatif tesis bedelinin 1.40 katı alınacaktır.

Tünel uzunluğu 1.75 km olup tünel karşılıklı iki aynadan açılacaktır. Buna göre tünel uzunluk zammının dikkate alınması gerekecektir.

$$\text{Tünel uzunluk zammı tesiri} = (1.75)^{0.168} \cong 1.10$$

Askıda sediment durumu gözönüne alınarak tünelde maksimum hız 3 m/s, cebri boruda ise 4 m/s kabul edilmiştir.

Atrnalı kesitli tünel $d/D = 0.82$ dolulukta

$$A = 0.7332 D^2, v_{\text{maks}} = 3 \text{ m/s}$$

$$D = 0.675 (Q_{\text{maks}})^{1/2}$$

Cebri boru çapı $D = 0.564 (Q_{\text{maks}})^{1/2}$, $v_{\text{maks}} = 4 \text{ m/s}$ için

- Tünel çapı $D = (0.77 \alpha - 0.07)^{0.143} Q_{\text{maks}}^{0.428} L_t^{-0.024}$, $L_t = 1.75 \text{ km}$

$$Q_{\text{maks}} = 90 \text{ m}^3/\text{s} \quad v = 3 \text{ m/s}, \quad D \cong 6.30 \text{ m}, \quad s = 7.4 \times 10^{-4}$$

$$= 110 \quad v = 3 \text{ m/s}, \quad D = 7.00 \text{ m}, \quad s = 6.3 \times 10^{-4}$$

$$= 130 \quad v = 3 \text{ m/s}, \quad D = 7.60 \text{ m}, \quad s = 5.7 \times 10^{-4}$$

$$= 150 \quad v = 3 \text{ m/s}, \quad D = 8.20 \text{ m}, \quad s = 5.1 \times 10^{-4}$$

- Tünel eğimi $s = 1.77 \times 10^{-3} \times Q_{\text{maks}}^2 D^{-16/3}$

- Cebri boru $v_{\text{maks}} = 4 \text{ m/s}$ seçildi

$$90 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } D = 5.40$$

$$110 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } D = 6.00$$

$$130 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } D = 6.50$$

$$150 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } D = 7.00$$

- Net düşü $H_n = H_b - (\Delta H_1 + \Delta H_2) \times 1.10$

$$Q = 90 \text{ m}^3/\text{s}; \quad \Delta H_1 = 675 \times 2.5 \times 10^{-4} + 1750 \times 7.4 \times 10^{-4} = 1.46$$

$$\Delta H_2 = 1.482 \times 10^{-3} \times 90^2 \times 5.4^{-16/3} \times 70 = 0.10$$

$$\text{Net düşü} = 66 - (1.46 + 0.10) \times 1.1 = 64.28 \text{ m}$$

| Serbest Akımlı Su İletim Hattında Ekonomik Çevirme Debisinin Seçimi | | | | | |
|--|---|--|---|---|------------------------------|
| ÖRNEK:11 | (2007 birim fiyatları/la) | | | | |
| | $Q_{maks}=90 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha = 0.62$ | $110 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.953$ | $130 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.48$ | $150 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.43$ | |
| 1. Ekonomik tünel çapı (paragraf 2.3) | D_{ek} | 6.30 m | 7.00 | 7.60 | 8.20 |
| 2. Tünel eğimi (paragraf 2.3) | S_{ek} | 7.4×10^{-4} | 6.3×10^{-4} | 5.7×10^{-4} | 5.1×10^{-4} |
| 3. Tünelde maks. hız (paragraf 2.3) | V_{maks} | 3.00 m/s seçildi | 3.00 m/s seçildi | 3.00 m/s seçildi | 3.00 m/s seçildi |
| 4. Ekonomik kanal eğimi (par. 2.4) | S_{ek} | 2.5×10^{-4} seçildi | 2.5×10^{-4} seçildi | 2.5×10^{-4} seçildi | 2.5×10^{-4} seçildi |
| 5. Cebri boru çapı (par. 3.2, 3.3) | D | (Tek boru) 5.40 m | (Tek boru) 6.00 m | (Tek boru) 6.50 | (Tek boru) 7.00 |
| 6. Cebri boruda maks. hız (par. 3.2, 3.3) | V_{maks} | 4.00 m/s seçildi | 4.00 m/s seçildi | 4.00 m/s seçildi | 4.00 m/s seçildi |
| 7. Brüt düşü (par. 3.1) | H_b | 66.00 m | 66.00 m | 66.00 m | 66.00 m |
| 8. Net düşü $H_n=H_b-(\Delta h_1+\Delta h_2) \times 1.10$ (par. 3.3.2) | | 66.00-1.72=64.28 | 66-1.51=64.49 | 64.49 | 64.49 |
| 9. Kurulu güç (par. 3.1) | | 51170 kW | 62745 | 74154 | 85562 |
| 10. Yıllık giderler | | | | | |
| Tünel ($L_t=1750 \text{ m}$) (par. 3.3.1) x 1.10 | | 2855500 YTL | 3406400 | 3909800 | 4440900 |
| Trapez kan. ($L_{tr}=675 \text{ m}$) (par. 3.3.1) x 1.40 | | 362200 YTL | 415600 | 466100 | 514200 |
| Duv. kan. ($L_d=0 \text{ m}$) (par. 3.3.1) | | - | - | - | - |
| Cebri boru ($l=70 \text{ m}$) (par. 3.3.1) | | 323500 YTL | 468700 | 468700 | 543600 |
| Daimi teçh. (par 3.3.1) | | 4656700 YTL | 5709800 | 6748000 | 7786100 |
| Diğer kısımlar için (Δ) | | Δ | Δ | Δ | Δ |
| Yıllık top. gider | YTL | 8197900 + Δ | 10000500 + Δ | 11592600 + Δ | 13284800 + Δ |
| 11. Yıllık üretilen enerji (par. 3.1) | GWh | 276.275 | 293.017 | 310.439 | 323.110 |
| 12. Yıllık enerji geliri | YTL | 33153000 | 35162040 | 37252680 | 38773200 |
| 13. Yıllık Net Gelir (par. 3.3.3) | YTL | 24955100- Δ | 25161540- Δ | 25660080- Δ | 25488400- Δ |

Teklif edilen proje için ekonomik $Q_{maks}=130 \text{ m}^3/\text{s}$ dir. Ancak büyük bir yekün tutacağı tahmin edilen ulaşım ve servis yolları tesis maliyetleri sağlıklı olarak belirlenmeden bu projenin ekonomik olup olmadığını tahmin etmek mümkün değildir.

ÖRNEK 12

Yapımı tasarlanan bir kanal santralında;

- Ulaşım ve servis yollarının yapımı ve bağlantısında, yakında bulunan çevre yollardan yararlanma imkanının mümkün olduğu ve düz arazide çalışacağı yapılan etüd sonucu belirlenmiştir.
- ENH ise proje sahasına yakın mesafede bulunan ana trafo merkezine bağlanacaktır.
- Brüt düşü $H_b=17.35 \text{ m}$.dir
- Temin edilen düşü miktarının az olmasına rağmen, hidroloji çalışmaları sonucu hazırlanan debi-süreklilik eğrisinden, su potansiyelinin yüksek olduğu anlaşılmıştır.

| Çevirme debisi (m^3/s) | Enerjiye çekilen yıllık ort. su (10^6 m^3) | Q_{ort} (m^3/s) | α |
|--|--|-------------------------------------|----------|
| 80 | 1877 | 59.50 | 0.74 |
| 90 | 1990 | 63.10 | 0.70 |
| 100 | 2083 | 66.08 | 0.66 |
| 110 | 2140 | 67.95 | 0.62 |

- Su iletim hattının özellikleri,

Trapez kanal $L= 5155 \text{ m}$, arazi enine eğimi: %30

Duvarlı kanal $L=630 \text{ m}$, arazi enine eğimi: %70

Tünel iki parça : $140+280 =420 \text{ m}$

Su iletim hattının toplam uzunluğu: 6205 m

$$\beta = \frac{5155}{5155 + 630} = \frac{5155}{5785} = 0.89$$

- Cebri boru $L=60 \text{ m}$ (Tek boru)

Bu HES tesisi için ekonomik çevirme debisinin ve proje için yapılacak yatırımın ekonomisinin belirlenmesi,

Ekte verilen inceleme tablosundan görüleceği üzere teklif edilen proje için yıllık maksimum net geliri (4311300-Δ) sağlayan çevirme debisi $Q_{maks}=100 \text{ m}^3/\text{s}$ dir.

- Tahmin edilen yıllık gider: $5020020/0.62$ =8096800 YTL
- Tahmin edilen yatırım bedeli: $8.097 \times 10^6/0.108$ =74.972x10⁶ YTL
- Birim enerji maliyeti =10.4 Ykr/kWh
- Yıllık net gelir =1234520
- Gelir/Gider oranı =1.15

Serbest Akımlı Su İletim Hattında Ekonomik Çevirme Debisinin Seçimi

ÖRNEK:12

(2007 yılı birim fiyatlarıyla)

| | $Q_{maks}=80 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.74$ | $90 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.70$ | $100 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.66$ | $110 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.62$ |
|--|---|--|---|---|
| 1. Ekonomik tünel çapı (paragraf 2.3) | D_{ek} | 6.30 | 6.50 | 7.00 |
| 2. Tünel eğimi (paragraf 2.3) | S_{ek} | 7.8×10^{-4} | 8.2×10^{-4} | 6.7×10^{-4} |
| 3. Tünelde maks. hız (paragraf 2.3) | V_{maks} | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| 4. Ekonomik kanal eğimi (par. 2.4) | S_{ek} | 2.5×10^{-4} seçildi | 2.5×10^{-4} seçildi | 2.5×10^{-4} seçildi |
| 5. Cebri boru çapı (par. 3.2, 3.3) | D | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| 6. Cebri boruda maks. hız (par. 3.2, 3.3) | V_{maks} | 4.60 | 5.10 | 5.60 |
| 7. Brüt düşü (par. 3.1) | H_b | 17.35 | 17.35 | 17.35 |
| 8. Net düşü $H_n=H_b-(\Delta h_1+\Delta h_2) \times 1.10$ (par. 3.3.2) | | $17.35-2.17=15.20$ | 15.20 | 15.20 |
| 9. Kurulu güç (par. 3.1) | | 10 755 kW | 13444 | 14789 |
| 10. Yıllık giderler | | | | |
| Tünel ($L_i=420 \text{ m}$) (par. 3.3.1) | | 622900 | 656400 | 743200 |
| Trapez kan. ($L_{tr}=5155 \text{ m}$) (par. 3.3.1) | | 1975800 | 2123800 | 2267300 |
| Duv. kan. ($L_d=630 \text{ m}$) (par. 3.3.1) | | 724 400 | 778 700 | 831 300 |
| Cebri boru ($l=60\text{m}$) (par. 3.3.1) | | 237 720 | 237 720 | 237 720 |
| Daimi teçh. (par 3.3.1) | | 1101100 | 1223400 | 1345800 |
| Diğer kısımlar için (Δ) | Δ | Δ | Δ | Δ |
| Yıllık top. gider | YTL | 4661920+ Δ | 5020020 + Δ | 5425320 + Δ |
| 11. Yıllık üretilen enerji (par. 3.1) | GWh | 74.326 | 77.761 | 79.889 |
| 12. Yıllık enerji geliri | YTL | 8919120 | 9331320 | 9586680 |
| 13. Yıllık Net Gelir (par. 3.3.3) | YTL | 4257200- Δ | 4311300- Δ | 4161360- Δ |

3.4. Basınçlı Çalışan Dairesel Kesitli Tüneli Su İletim Hattında Ekonomik (Q_{maks}) Çevirme Debisinin Seçimi

3.4.1. Projenin Yıllık Gideri (YTL)

- i) Basınçlı çalışan Su İletim Hattının Yıllık Gideri Paragraf 2.2 (iii)'den Tünelin Yıllık Toplam Gideri (YTL)

$$(YG) = 67.84 (D)^{1.676} (L_t)^{0.168} \times L \text{ (tünel uzunluğu m.)}$$

L_t = tünel uzunluk zammına esas uzunluk (km.)

- ii) Cebri Borunun Yıllık Gideri

Tek cebri boru kullanıldığı takdirde,

Paragraf 3.3.1 (ii)'den

$$(YG) = 158.48 (D)^2 L_c$$

L_c = cebri boru uzunluğu (m.)

- iii) Santral ve Şalt Sahası Daimi Teçhizatı Yıllık Gideri

Paragraf 3.3.1 (iii)'den,

$$(YG) = 801 (Q_{maks}) H_n \quad \text{veya}$$

$$\cong (\text{kurulu güç kW}) \times 91$$

- iv) Kanal Santralının Değişmeyen Diğer Kısımlarının Yıllık Toplam Gideri

Sabit bir rakam olarak (Δ) alınacaktır.

3.4.2. Projenin Yıllık Geliri

Paragraf 3.3.2'de yapılan açıklamadan hareketle;

Üretilen yıllık enerji:

$$E = 2.456 \times 10^{-3} \times V \times H_n \text{ (kWh)}$$

Yıllık enerji geliri

$$= 0.295 \times 10^{-3} \times V \times H_n$$

3.4.3. Yıllık Net Gelir (YTL)

$$(YNG) = (0.295 \times 10^{-3} \times V \times H_n) - [(i) + (ii) + (iii) + (\Delta)]$$

Değişik Q_{maks} değerleri için hesaplanan yıllık net geliri maksimum yapan debi, proje için en ekonomik çevirme debisini belirlemiş olacaktır.

ÖRNEK 13

Basınçlı çalışan dairesel kesitli betonarme kaplamalı tünelden oluşan bir su iletim hattına sahip kanal santrali için aşağıda verilen bilgiler temin edilmiştir;

- Tünel uzunluğu (L=9000 m)
 - 1. parça : 3 km
 - ulaşım galerisi : 0.5 km
 - 2. parça : 6 km
- Cebri boru uzunluğu = 800 m
- Su çevirme yapısında s.s. kotu :1170 m
 - Kuyruksuyu s.s. kotu :862 m
 - Brüt düşü : 308 m
- Su çevirme eksenini için hazırlanan debi süreklilik eğrisinden

| Q_{maks} (m^3/s) | Yıllık ort. su ($10^6 m^3$) | Q_{ort} (m^3/s) | $\alpha = \frac{Q_{ort}}{Q_{maks}}$ |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 35 | 335 | 10.62 | 0.30 |
| 25 | 305 | 9.67 | 0.39 |
| 20 | 285 | 9.04 | 0.45 |
| 15 | 263 | 8.34 | 0.56 |

İstenen,

- Tünel çapının belirlenmesi
- Ekonomik su çevirme debisinin seçimi

- Tahmin edilen yatırım bedeli ve projenin ekonomisi;

Tünel uzunluk zammına esas uzunluk

1. parça için $L_{t1} = 3 + 0.5 = 3.5$ km

2. parça için $L_{t1} = 6 + 0.5 = 6.5$ km

ort. = $(3.5 + 6.5) \times 0.5 \cong 5$ km (uzunluk zamanına esas uzunluk)

Tünel uzunluk zammı tesiri = $5^{0.168} = 1.31$

| Q_{maks} | $v_{maks}=3$ m/s için tünel çapı |
|------------|--|
| 35 | = 3.90 m, ($v_{maks}=3$ m/s) |
| 25 | = 3.50 m (Tünelin uzunluğu dikkate alınarak minimum tünel çapı 3.50 m. seçilmiştir.) |
| 20 | = 3.50 m |
| 15 | = 3.50 m |

Yapılan işlemler ekte verilmiştir.

- Enerji çizgisi eğimi $s = 2.018 \times 10^{-3} \times Q^2 \times D^{-16/3}$, (L=9000 m)

$Q_{maks} = 35$ m³/s, D=3.90 için $s = 1.74 \times 10^{-3}$, $\Delta H_1 = 15.66$ m

$Q_{ort} = 10.62$, D=3.90 için $s = 0.16 \times 10^{-3}$, $\Delta H_1 = 1.44$ m

$Q_{maks} = 25$ m³/s, D=3.50 için $s = 1.60 \times 10^{-3}$, $\Delta H_1 = 14.40$ m

$Q_{ort} = 9.67$ m³/s, D=3.50 için $s = 2.34 \times 10^{-4}$, $\Delta H_1 = 2.11$ m

$Q_{maks} = 20$ m³/s, D=3.50 için $s = 1.02 \times 10^{-3}$, $\Delta H_1 = 9.18$ m

$Q_{ort} = 9.04$ m³/s, D=3.50 için $s = 2.07 \times 10^{-4}$, $\Delta H_1 = 1.86$ m

$Q_{maks} = 15$ m³/s, D=3.50 için $s = 5.71 \times 10^{-4}$, $\Delta H_1 = 5.14$ m

$Q_{ort} = 8.34$ m³/s, D=3.50 için $s = 1.77 \times 10^{-4}$, $\Delta H_1 = 1.59$ m

- Cebri boru L= 800 , $v_{maks}=4.00$ m/s seçildi

$Q_{maks} = 35$ m³/s, için D=3.30 m $\Delta H_2 = 1.482 \times 10^{-3} \times 35^2 \times 3.3^{-16/3} \times 800 = 2.50$ m

$$Q_{ort} = 10.62 \text{ D}=2.80, \quad \Delta H_2 = 1.482 \times 10^{-3} \times 10.62^2 \times 3.3^{-16/3} \times 800 = 0.23 \text{ m}$$

$$Q_{maks} = 25 \text{ m}^3/\text{s} \quad D=2.80 \quad \Delta H_2 = 3.06 \text{ m}$$

$$Q_{ort} = 9.67 \text{ m}^3/\text{s} \quad D=2.80 \quad \Delta H_2 = 0.46 \text{ m}$$

$$Q_{maks} = 20 \text{ m}^3/\text{s} \quad D=2.50 \quad \Delta H_2 = 3.60 \text{ m}$$

$$Q_{ort} = 9.04 \text{ m}^3/\text{s} \quad D=2.50 \quad \Delta H_2 = 0.73 \text{ m}$$

- Net düşü $H_n = H_b - (\Delta H_1 + \Delta H_2)$, $H_b = 308.00 \text{ m}$

$$Q_{maks} = 35 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } H_n \cong 289, \quad Q_{ort} = 10.62 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } H_n \cong 306 \text{ m}$$

$$Q_{maks} = 25 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } H_n \cong 290, \quad Q_{ort} = 9.67 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } H_n \cong 305 \text{ m}$$

$$Q_{maks} = 20 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } H_n \cong 295, \quad Q_{ort} = 9.04 \text{ m}^3/\text{s} \text{ için } H_n \cong 305 \text{ m}$$

| Basmaçılı Su İletim Hattında Ekonomik Çevirme Debininin Seçimi | | (2007 yılı birim fiyatlarıyla) | | | |
|--|-------------|---|--|--|--|
| ÖRNEK:13 | | $Q_{maks}=35 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.30$ | $25 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.39$ | $20 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.45$ | $15 \text{ m}^3/\text{s}$ $\alpha=0.56$ |
| 1. Ekonomik tünel çapı (paragraf 2.2) | D_{ek} | 3.90 m ($V_{maks}=3.00 \text{ m/s}$) | Uzun tünel $D_{(min.)}=3.50$ | 3.50 uzun tünel | |
| Q_{ort} ve Q_{maks} için | | 1.6×10^{-4} 1.7×10^{-3} | 2.4×10^{-4} 1.6×10^{-3} | 2.1×10^{-4} 1×10^{-3} | |
| 2. Tünelde Enerji çizgisinin eğimi (paragraf 2.2) | s | | | | |
| 3. Tünelde maks. hız (paragraf 2.2) | V_{maks} | 3.00 m/s | 2.60 | 2.10 | |
| 4. Cebri boru çapı (par. 3.2, 3.3) | D | Tek boru 3.30 m | 2.80 m | 2.50 | |
| 5. Cebri boruda maks. hız (par. 3.2, 3.3) | V_{maks} | 4.00 m/s seçildi | 4.00 | 4.00 | |
| Q_{ort} için Δh_2 ; Q_{maks} için Δh_2 | | $\Delta h_2=0.25, 2.50$ | $\Delta h_2=0.5; 3.1$ | $\Delta h_2=0.7, 3.6$ | |
| 6. Brüt düşü (par. 3.1) | H_b | 308.00 m | 308.00 | 308.00 | |
| Q_{ort} debi için | ort. H_n | 308-2=306 | 308-3=305 | 305 | |
| 7. Net düşü $H_n=H_b-(\Delta h_1+\Delta h_2)$ (par. 3.3.2) | | | | | |
| Q_{maks} için | maks. H_n | 308.0-19=289 | 308.0-18=290 | 295 | |
| 8. Kurulu güç (par. 3.1) | | 89467 kW | 64126 | 52185 | |
| 9. Yıllık giderler | | | | | |
| Tünel (L: 9000 m) (par. 3.4.1) x 1.31 | | 7827515 YTL | 6529165 | 6529165 | |
| Cebri boru (l=800m) (par. 3.4.1) | | 1380700 YTL | 993900 | 792400 | |
| Daimi teçh. (par 3.4.1) | | 8141500 | 5835500 | 4748800 | |
| Diğer kısımlar için (Δ) | | Δ | Δ | Δ | |
| Yıllık top. gider | YTL | 17349700 + Δ | 13358600 + Δ | 12070400 + Δ | |
| 10. Yıllık üretilen enerji (par. 3.1) | GWh | 251.764 | 228.469 | 213.488 | |
| 11. Yıllık enerji geliri (par. 3.4.2) | YTL | 302211680 | 27416300 | 25618560 | |
| 12. Yıllık Net Gelir (par. 3.4.3) | YTL | 12861900- Δ | 14057700- Δ | 13548160- Δ | |

Yapılan incelemeden görüleceği üzere teklif edilen basınçlı su iletim hattına sahip bu kanal santrali için ekonomik çevirme debisi

$$Q_{\text{maks}}=25 \text{ m}^3/\text{s} \text{ dir.}$$

Ön değerlendirmede kullanılmak üzere, projenin tahmin edilen ekonomik yapısı;

- Projenin tahmin edilen yıllık toplam gideri

yine aynı kabul yapıldığı takdirde,

$$= 13.359 \times 10^6 / 0.62 \cong 21.547 \times 10^6 \text{ YTL}$$

- Tahmin edilen yatırım bedeli

Tünelli sistem için yıllık toplam giderin yatırım bedeline oranı=0.105 alınmıştır.

$$(YB) = 21.547 \times 10^6 / 0.105$$

$$= 205.209 \times 10^6 \text{ YTL}$$

- Birim enerji maliyeti

$$\frac{21.547 \times 10^6}{228.469 \times 10^6} \times 100 = 9.4 \text{ Ykr/kWh}$$

- Yıllık net gelir

$$= 27.416 \times 10^6 - 21.547 \times 10^6$$

$$= 5.869 \times 10^6 \text{ YTL}$$

- Gelir/Gider oranı = 1.27

ÖRNEK 14

Kaynaklarla beslenen ve su potansiyeli yüksek ve ayrıca büyük eğime sahip bir akarsu, hidroelektrik enerji üretimine cazip imkan sağlamaktadır. Yapılan etüd ve araştırmalar sonucu, gerek topoğrafik ve gerekse jeolojik koşulların burada bir depolama tesisi yapılmasına uygun olmadığını ortaya koymuştur.

Özetle, bu hidroelektrik enerji potansiyelinin bir kanal santrali ile değerlendirilmesi düşünülmüştür. Temin edilen bilgiler;

- Su iletim hattı basınçlı olup

Tünel uzunluğu: 2045 m

Tünel ancak karşılıklı iki aynadan açılacaktır.

Tünel uzunluk zammı tesiri = $(2.045)^{0.168}=1.13$

- Cebri boru uzunluğu : 100 m
- Brüt düşü H_b ; 66.00 m
- Su çevirme eksenini için hazırlanan debi-süreklilik eğrisinden,

| Q_{maks} (m^3/s) | Enerjiye çekilen yıllık ort. su miktarı ($10^6 m^3$) | Q_{ort} (m^3/s) | $\alpha = \frac{Q_{ort}}{Q_{maks}}$ |
|---------------------------|---|-----------------------|-------------------------------------|
| 90 | 1750 | 55.49 | 0.62 |
| 110 | 1850 | 58.66 | 0.53 |
| 130 | 1960 | 62.15 | 0.48 |
| 150 | 2040 | 64.69 | 0.43 |

- Tünel çapının belirlenmesi,
- Ekonomik çevirme debisinin seçimi
- Ö değerlendirme için projenin tahmin edilen yatırım bedeli ve ekonomisi

Tünelde, askıdaki sediment durumu gözönüne alınarak $V_{maks}=3 m/s$ alınacaktır.

- Enerji çizgisinin eğimi: $s=2.018 \times 10^{-3} \times Q^2 \times D^{-16/3}$, ($L=2045 m$)

$Q_{maks}=110 m^3/s$, $D=6.80 m$, $s= 8.9 \times 10^{-4}$, $\Delta H_1= 1.82 m$

$Q_{ort}= 58.66$, $D=6.80 m$, $s= 2.5 \times 10^{-4}$, $\Delta H_1= 0.52 m$

$Q_{maks}=130$, $D=7.50 m$, $s= 7.4 \times 10^{-4}$, $\Delta H_1= 1.51 m$

$Q_{ort}= 62.15$, $D=7.50 m$, $s= 1.7 \times 10^{-4}$, $\Delta H_1= 0.34 m$

$Q_{maks}=150$, $D=8.00 m$, $s= 7 \times 10^{-4}$, $\Delta H_1= 1.43 m$

$Q_{ort}= 64.69$, $D=8.00 m$, $s= 1.3 \times 10^{-4}$, $\Delta H_1= 0.27 m$

- Cebri boru, $L= 100$ m, tek boru, $v_{maks}=4.00$ m/s seçildi

$$Q_{maks} = 110 \text{ m}^3/\text{s}, \quad D=6.00 \text{ m}, \quad \Delta H_2 = 0.13$$

$$Q_{maks} = 150 \text{ m}^3/\text{s}, \quad D=6.90 \text{ m}, \quad \Delta H_2 = 0.12$$

- $H_n = 66.00 - (\Delta H_1 + \Delta H_2)$

| Basınçlı Su İletim Hattında Ekonomik Çevirme Debininin Seçimi | | | | | |
|---|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| ÖRNEK:14 | (2007 yılı birim fiyatlarıyla) | | | | |
| | $Q_{maks}=110 \text{ m}^3/\text{s}$ | $130 \text{ m}^3/\text{s}$ | $150 \text{ m}^3/\text{s}$ | $150 \text{ m}^3/\text{s}$ | m^3/s |
| 1. Ekonomik tünel çapı (paragraf 2.2) | D_{ek} | 6.80 m | 7.50 | 8.00 | |
| Q_{ort} ve Q_{maks} için tünelde | | Q_{ort} için $=2.5 \times 10^{-4}$ | 1.7×10^{-4} | 1.3×10^{-4} | |
| 2. Enerji çizgisinin maks. eğimi (paragraf 2.2) | s | Q_{maks} için $=8.9 \times 10^{-4}$ | 7.4×10^{-4} | 7×10^{-4} | |
| 3. Tünelde maks. hız (paragraf 2.2) | v_{maks} | 3.00 m/s seçildi | 3.00 m/s seçildi | 3.00 m/s seçildi | |
| 4. Cebri boru çapı (par. 3.2, 3.3) | D | Tek boru 6.00 m | 6.50 m | 6.90 | |
| 5. Cebri boruda maks. hız (par. 3.2, 3.3) | v_{maks} | 4.00 m/s seçildi | 4.00 | 4.00 | |
| Q_{ort} için Δh_2 ; Q_{maks} için Δh_2 | | $\Delta h_2=0.1, 0.15$ | $\Delta h_2=0.10; 0.15$ | $\Delta h_2=0.10, 0.15$ | |
| 6. Brüt düşü (par. 3.1) | H_b | 66.00 m | 66.00 | 66.00 | |
| Q_{ort} için | ort. H_h | 66-0.6=65.40 | 66-0.5=65.5 | 66-0.4=65.6 | |
| 7. Net düşü $H_n=H_b-(\Delta h_1+\Delta h_2)$ (par. 3.3.2) | | 66-20=64.0 | 66-1.7=64.3 | 66-1.6=64.4 | |
| Q_{maks} için | maks. H_n | 62300 kW | 73900 | 85400 | |
| 8. Kurulu güç (par. 3.1) | | | | | |
| 9. Yıllık giderler | | | | | |
| Tünel (L: 2045 m) (par. 3.4.1) x 1.13 | | 3895000 YTL | 4590500 | 5114900 | |
| Cebri boru (l=100m) (par. 3.4.1) | | 570500 YTL | 669550 | 7771400 | |
| Daimi teçhizat (par 3.4.1) | | 5669 300 YTL | 6724 900 | 7771400 | |
| Diğer kısımlar için (Δ) | | Δ | Δ | Δ | |
| Yıllık top. gider | YTL | 10134800 + Δ | 11984900 + Δ | 13640800 + Δ | |
| 10. Yıllık üretilen enerji (par. 3.1) | GWh | 297.151 | 315.301 | 328.671 | |
| 11. Yıllık enerji geliri (par. 3.4.2) | YTL | 35658100 | 37 836100 | 39 440600 | |
| 12. Yıllık Net Gelir (par. 3.4.3) | YTL | 25523300- Δ | 25851200- Δ | 25799800- Δ | |

Değerlendirme sonucu;

- Teklif edilen proje için ekonomik çevirme debisi $Q_{maks}=130 \text{ m}^3/\text{s}$
- Projenin ön değerlendirmede kullanılmak üzere, tahmin edilen toplam gideri yine aynı kabul;

$$11.331 \times 10^6 / 0.62 = 19.331 \times 10^6 \text{ YTL}$$

- Tahmin edilen yatırım bedeli

$$(YB) = 19.975 \times 10^6 / 0.105$$

$$= 184.105 \times 10^6 \text{ YTL}$$

- Birim enerji maliyeti

$$\frac{19.331 \times 10^6}{315.301 \times 10^6} \times 100 = 6.1 \text{ Ykr/kWh}$$

- Yıllık net gelir,

$$= 37.836 \times 10^6 - 19.331 \times 10^6$$

$$= 18.505 \times 10^6 \text{ YTL}$$

- Gelir/Gider oranı=1.96

AÇIKLAMA:

Paragraf 3.'de yapılan çalışmalardan ve getirilen örneklerden elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

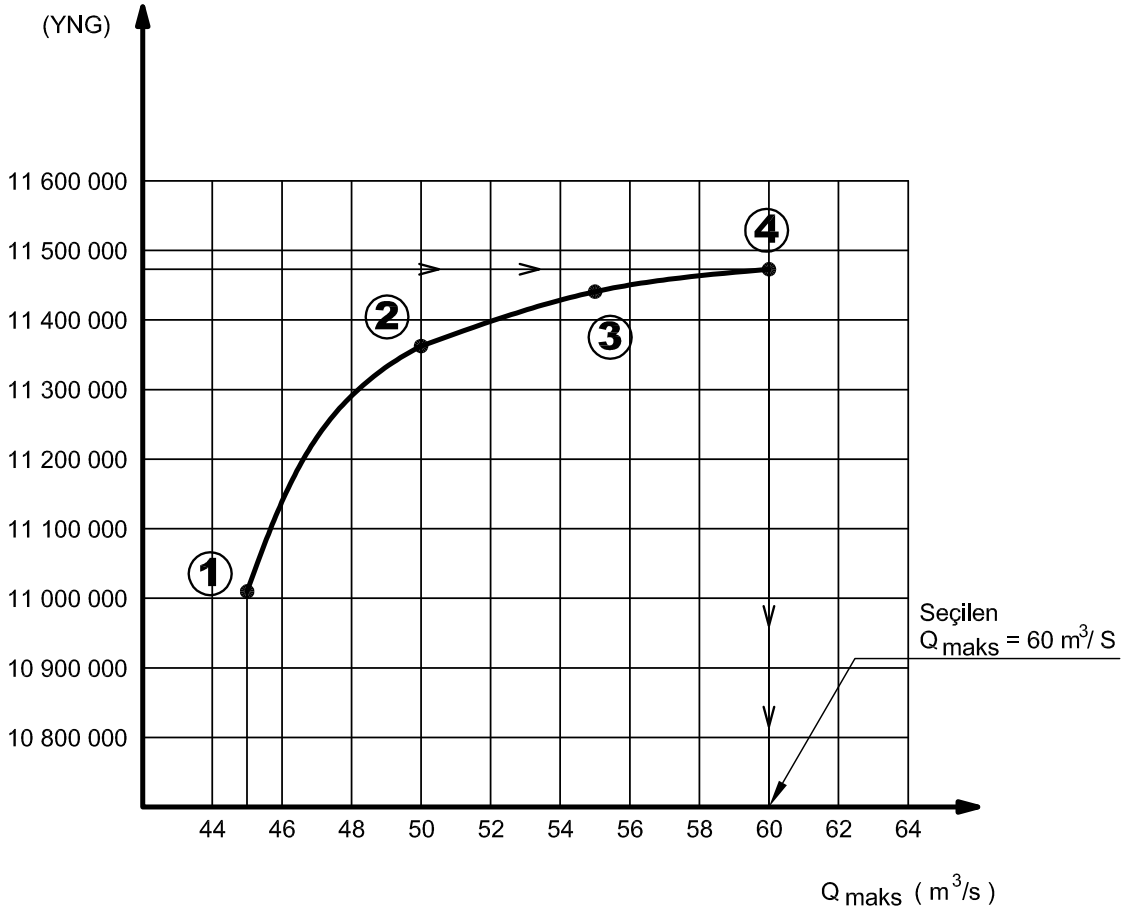
- (1) İncelenen kanal santrali için ekonomik çevirme debisinin (Q_{maks}) seçiminde, projenin değişik her Q_{maks} çevirme debisi alternatifi için değişkenlik gösteren (türbinlenen su miktarı ile su iletim hattı, cebri borular ve daimi teçhizat tesis maliyetleri) kısımları dikkate alınmıştır. Bunların dışında kalan ve neticeyi etkilemeyecek küçük değişikliklere sahip olan projenin diğer kısımları ise her alternatif için aynı kabul edilmiştir. Buna göre bu şekilde bulunacak Q_{maks} , proje için güvenilir çevirme debisini temsil edecek hassasiyeti taşımaktadır.

Seçilen çevirme debisi (Q_{maks})'ne ait projenin ekonomik yapısının (yatırım bedeli, yıllık gider, yıllık net fayda, birim enerji maliyeti ve Gelir/Gider oranı) tahmininde projenin inşaat süresi 2 yıl, bilinmeyenler ve etüd-proje ve kontrollük için ayrı ayrı %10 ve sosyal iskonto oranı %9.5 ve tesisin ekonomik ömrü ise 50 yıl alınmıştır. Su iletim hattı üzerinde yer alan tünellerin orta sağlamlılıkta kaya içinde açılacağı düşünülmüştür. Bütün bu kabul ve şartların değişmesi durumunda hesapların revize edilmesi gerecektir.

Burada, pratik bir yaklaşımla, projenin ekonomik yapısı için hesapla bulunan sonuçlar tamamen ön inceleme aşamasında yapılan değerlendirmede kullanılmak üzere verilmiş yaklaşık (\approx %5 hata paylı) değerlerdir.

Şüphesiz, seçilen Q_{maks} çevirme sebisine sahip yani teklif edilen projenin tesis maliyetlerinin, metraj ve keşiflere dayalı olarak hazırlanması ve nihai ekonomik analizin de buna göre yapılması gerekmektedir.

| $Q_{maks.}$ (m^3/s) | Yıllık net gelir (YNG) YTL |
|----------------------------|---------------------------------|
| ① 45 | 11 010 100 _ Δ |
| ② 50 | 11 363 900 _ Δ |
| ③ 55 | 11 441 940 _ Δ |
| ④ 60 | 11 468 240 _ Δ |



Şekil 7. Örnek 9'da verilen kanal santrali için ekonomik $Q_{maks.}$ debisinin seçimi

4. YÜKLEME HAVUZLARI

4.1. Yükleme Havuzu Tertip Şekli ve Kısımları

4.1.1. Yükleme Havuzunun Tertip Şekli

Serbest akımlı su iletim hattı sonunda yer alan yükleme havuzları, esas itibariyle suyun cebri borulara geçişinde bir tranzisyon görevi yapmaktadır. Cebir boru su alma yapısının hemen membasında bulunan yükleme havuzları, bir taraftan su seviyesini düzenler ve diğer taraftan cebri boruların sürekli basınç altında çalışmasını temin eder. Bunların hacimleri hidrolik şartları sağlayacak şekilde seçilir. Bazı durumlarda günlük enerji talebine ve pik saatlerdeki ihtiyaçlara cevap verecek şekilde (günlük yük eğrisine ve suyun paternine göre) çok büyük hacimli (biriktirmeli) olarak da tertip edilebilirler. Yani böyle bir durum çevrilen günlük debilerin düzenlenmesi veya talebe uygun olarak enerji üretilmesi durumlarında ortaya çıkmaktadır.

Yükleme havuzunun genişliği santral binası genişliğine bağlı olup hidroloji karmaşıktır. Hazırlanan projenin, hidrolik model çalışmaları sonucuna göre kontrol edilerek proje üzerinde gereken iyileştirmelerin yapılması gerekir.

Yükleme havuzunda akım hızı yavaşladığında (0.10 ~ 0.20 m/s gibi) askıda bulunan sedimentin çökmemiş kısmı burada tekrar çökme imkanı bulmaktadır. Bu durum dikkate alınarak yükleme havuzu tabanında biriken sedimentin basınçlı su ile periyodik olarak yıkanıp dipsavaktan atılması gerekmektedir.

Yükleme havuzu yerinin belirlenmesinde topoğrafik ve jeolojik şartların uygun ortam sağlanması gerekir. Yerleşim ve tertibinde santralin konumu gözönüne alınarak cebri borunun kısıtlılığı temin edilmelidir.

Yükleme havuzunun sızdırmazlığı sağlanmalı ve çevresinde uygun bir drenaj şebekesi tesis edilerek su seviyesi kontrol altına alınmalıdır. Havuzun bakım, onarım veya herhangi bir nedenle boşaltılabileceği gözönüne alınarak duvarların stabilite tahkikinde duvar arkası dolgusu içinde oluşacak s.s. (doğgun durum) dikkate alınmalıdır. Taban kaplaması ise alttan kaldırma kuvvetini karşılayacak şekilde tertip edilmeli ve özel detaylarla (ankrajlama, efektif drenaj şebekesi gibi) donatılmalıdır. Yükleme havuzundan olabilecek sızıntılara karşı içten tecridi düşünülmeli taban ve duvarlarında geçirimsiz beton kullanılmalıdır.

Yükleme havuzu açıkta tertip edileceği gibi serbest akımlı su iletim tünelinin sonunda tünelin genişletilmesiyle yeraltında da yapılabilir. Böyle bir durumda yükleme havuzunda, türbinlerin ani durması, veya dolusavağın tam kapasite ile çalışması gibi nedenlerle meydana gelecek kabarmaya karşı tünelde yeteri kadar hava payı temin edilmesi gerekir.

Türbin kanatçıklarının ani kapanmaları (tam yük atması) veya ani yük taleplerinin karşılanması durumlarında devreye girmesiyle yükleme havuzundaki su seviyeleri sırası ile yükselme ve alçalma gösterir. Suyun yükselmesi (kabarması) halinde çevreye zarar vermemesi için yükleme havuzu çevre duvarlarının uygun şekilde projelendirilmesi gerekir. Diğer taraftan su seviyesinin alçalması durumunda is cebri borulara hava girmesini önlemek amacı ile cebri boruların üstünde yeterli bir su tabakası kalınlığının temin edilmiş olması gerekir.

Su iletim kanalındaki akım hızı büyük buna mukabil yükleme havuzundaki akım hızı ise daha küçüktür. Bu durum karşısında tranzisyonda meydana gelecek lokal yük kayıplarını önlemek amacıyla uygun bir yaklaşımın sağlanması gerekir. Yükleme havuzunun iletim kanalı girişinden itibaren yavaş genişleyen ve derinleşen formda olması bu amaca hizmet edecek uygun bir tertip şekli olacaktır.

İletim kanalının yükleme havuzuna girişinde hız farkı dolayısıyla meydana gelecek kabarma (potansiyel enerji) genellikle dalgalanma, çevrinti ve anafor ile kaybolmaktadır.

4.1.2. Yüklem Havuzunun Kısımları

Yüklem havuzu, fonksiyonunu yerine getirmesinde yardımcı ve gerekli olan aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır.

- Havuz (depolama) kısmı
- Dolusavak yapısı
- Dipsavak yapısı
- Hemen bitişiğinde cebri boru su alma yapısı (giriş ızgarası, işletme ve batardo kapakları ve cebri borular)

Dolusavak, türbin kanatçıklarının ani olarak kapanması (yük atması) durumunda yüklem havuzunda kabarmaları kontrol altında tutarak su iletim hattından gelen debinin dışarı atılmasını sağlar. Dolusavak yapısı arazinin topografik durumuna göre

yerleştirilir. Kret kotu, yükleme havuzu su yüzeyinde oluşan dalgalar dolayısıyla N.S.S.'den 10~15 cm yüksekte tasarlanır.

Yükleme havuzlarında maksimum su seviyesinin tesbitinde, dolusavağın tam kapasite ile çalışması (dokusavak yükü) veya türbinlerin ani kapanmaları sonucu N.S.S.'de meydana gelen kabarmalar etkili olmaktadır. Bu şekilde bulunacak maksimum su seviyesine hava payı (yaklaşık 0.50 m gibi) ilave edilerek, yükleme havuzundan dışarıya taşkın olmaması için, yükleme havuzu duvar üst kotu belirlenir.

Bu konunun serbest akımlı su iletim hattı içinde titizlikle incelenmesi gerekir. Yani dolusavağın tam kapasite ile çalışmaya başlaması ile yükleme havuzunda N.S.S. üzerinde meydana gelen ve membaya doğru yayılan bu kabarma su iletim hattını etkileyecektir. Su iletim hattı üzerinde bulunan tünellerde bu kabarma sonucu su yüzeyi üzerinde yeterli bir hava payının kalıp kalmadığının kontrolü ve aynı şekilde kanalda da bu kabarmadan dolayı suyun dışarıya taşmaması için yeterli bir hava payı ilavesinin gereği önem arz etmektedir.

Yükleme havuzunun bakım onarımı ve zaman zaman tabanda biriken sedimentin temizliği için havuzun boşaltılmasında dipsavak tesisinden yararlanılmaktadır.

Sualma yapısı cebri borulara girişi sağlar. Giriş ağızı tormuna göre meydana gelen yük kayıpları Şekil 8'de verilmiştir. Girişten cebir borulara girmesi istenmeyen veya türbin kanatlarına zara verecek yabancı, yüzücü maddelerin tutulması için ızgaralar yerleştirilir. Bu ızgaraların önünde biriken maddelerin temizliği için sualma yapısı üst platformuna ızgara temizleme makinası yerleştirilir.

Projelendirmede, enerji kaybını azaltmak ve yüzücü maddelerin sürüklenmesini önlemek için ızgara brüt alanında giriş (yaklaşım) hızı 0.50 ~ 1.0 m/s arasında seçilmektedir. Iızgara elemanlarının hesabında, ızgaranın tamamen tıkanması en gayri müsaıt durumu yansıtmaktadır. Ancak ızgara temizleme makinası ile ızgara önünün periyodik olarak temizlendiği gözönüne alınırsa, ekonomik düşüncelerle hesaplarda bu tıkanmanın %50 olabileceği yani ızgara brüt alanına tesir eden toplam hidrostatik itkinin yarısını almak mümkündür.

Iızgara çubuklarının aralıkları 5~15 cm arasında değişir. Yapısal analizde 3 m.lik bir su seviye farkı dikkate alınırken ızgara çubuklarının bu tarzda hesabında su seviyeleri farkı 2 m alınmaktadır. Iızgaralar dik veya yatayla 75° lik açı teşkil edecek şekilde yerleştirilirler.

Sualma yapısında işletme ve servis kapağı ve bu kapağın membasına batardo (stop-log) kapağı bulunmaktadır. Türbin giriş vanasının (kelebek vananın) teçhiz edilmesi durumunda sualma yapısında batardo kapağı yeterlidir. Sualma yapısındaki kapağın hemen mansabına, cebri borunun boşaltılması sırasında kavitasyona karşı veya cebri borunun doldurulması sırasında içerideki havayı dışarı atmak ve ayrıca akımın düzenlenmesine yardımcı olmak amacı ile havalandırma borusu yerleştirilir. Havalandırma borusunun çap seçiminde hava akım hızı yaklaşık 50~60 m/s alınmaktadır.

Yükleme havuzlarında sualma yapısı önünde gerekli görüldüğü takdirde, akımı yönlendirmek amacı ile kılavuz perde duvarlarının (buffle piers) teşkili yararlı olmaktadır.

Sualma yapısındaki işletme kapağı santral binasından kumanda edilebilmeli ve ayrıca yerinde de işletilebilecek şekilde teçhiz edilmelidir. Türbinin boşa çalışması veya cebri borulardaki herhangi bir arıza durumunda işletme kapağı otomatik olarak kapanmalıdır.

Sualma yapısı içine döşenen cebri boruların, belirli aralıklarla teşkil edilmiş flanşlarla betona ankraji temin edilmelidir.

4.2. Boyutlandırma

Yükleme havuzunda minimum su seviyesi ile cebri boruların üzerinde kalacak su tabakası kalınlığının vorteks oluşumunu ve cebri borulara hava girişini önleyecek yeterli kalınlıkta olması gerekmektedir. Bu minimum s.s. üzerinde bırakılacak aktif hacim, türbinlerin en az bir dakikalık su ihtiyacını karşılayacak büyüklükte olmalıdır (Kaynak 3). Böylece yükleme havuzunun N.S.S. kotu belirlenmiş olur.

Türbinlerin tamamen devre dışı kalması halinde iletim kanalından gelen su dolusavaktan atılır. N.S.S. üzerine dolusavak yükü ve membaya doğru oluşacak kabarmanın da etkisi paragraf 4.1.2'de açıklandığı üzere duvar üst kotu ve yükleme havuzu derinliği bulunur.

Yükleme havuzunun eni ve boyu ise bitişik (dulusavak, dipsavak ve cebri boru sualma) yapıların müşterek tertibi ile orta çıkar. Yükleme havuzunda suyun yaklaşım hızının (0.10 ~ 0.20) m/s gibi yavaş olması sağlanır. Bu tertip bir taraftan çökmemiş askıdaki sedimentin yükleme havuzunda çökmesine imkan

sağlarken, diğer taraftan sualma yapısı önünde vorteks oluşumunun önlenmesine de yardımcı olacaktır.

4.3. Değişken, Permanan Olmayan Akımlar (Unsteady Flow)

Su iletim hattında debinin az değişim göstermesi halinde akım, permanan (steady) olarak kabul edilebilirken debinin ani değişmesi durumunda ise permanan olmayan (unsteady) bir akım meydana gelir.

Örnek olarak türbin kanatçıklarının ani olarak kısmen veya tamamen kapanması durumlarında yükleme havuzunda dalga hareketleri oluşur. Bu dalga hareketi memba ve mansaba doğru ilerleyerek yayılır. Membaya ve mansaba doğru devamlı hareket eden bu dalga hareketi daha sonra sönmülenerek yeniden permanan akım teşekkül eder.

Dikdörtgen bir kanalın mansabında kapağın ani olarak kapanması ile kapak önünde meydana gelen dalga yüksekliği ve dalga yayılım hızı (celerity),

Q: Kanaldaki debi (m^3/s)

b: Kanal genişliği (m)

h: Su derinliği (m)

v: Kanalda su hızı (m/s)

v_d : Dalga hızı (m/s)

Δh : Dalga yüksekliği (m)

Kanalda su derinliği (h) ve akım hızı (v) bilindiğine göre Δh ve Δd Şekil 9 yardımı ile bulunabilir. Bu konularda ayrıntılı bilgi Kaynak 3'de verilmektedir.

ÖRNEK:

Q (kanaldaki akım): $80 m^3/s$

b (kanal genişliği): 10.5 m

h (kanalda su derinliği): 4.00 m

v (kanalda su hızı): 1.90 m/s

Şekil 9'dan $\Delta h/h=0.32$

Dalga yüksekliği $\Delta h= 0.32 \times 4.00 =1.28$ m

Dalga hızı $v_d=7.8$ m/s

Kapağın ani kapanması ile kapak önünde meydana gelen kabarmada maksimum dalga yüksekliğinin $1.5 \Delta h$ alınabileceği belirtilmektedir (Kaynak 3).

Türbinlerin herhangi bir nedenle ani olarak devre dışı kalmaları durumunda (ve dolusavağın da çalışmadığı düşünülürse) yükleme havuzunda Δh kadar bir kabarma olacaktır. Böyle bir hal için yükleme havuzu, genişliği (b) ve su derinliği (h) olan bir kanal gibi düşünülerek kabarma yüksekliği hesap edilebilir. Buna ait açıklayıcı örnek aşağıda verilmiştir.

- Türbin debisi : 68.50 m³/s
- Yükleme havuzu genişliği b (ort.) : 40.00 m
- Yükleme havuzu su derinliği h (ort.) : 12.00 m
- Türbin kanatçıklarının ani durması haline kabarma miktarı : Δh

$v= 68.5/40 \times 12=0.15$ m/s

$\Delta h/h \cong 0.05$, $v_d=9$ m/s

$\Delta h= 0.05 \times 12 = 0.60$ m

Maks. dalga yüksekliği $1.5 \times 0.60=0.90$ m

Yükleme havuzunda permanan olmayan akım halinde ve dolusavağın da çalışması durumunda, meydana gelen dalga (kabarma) yüksekliği akım hızına veya L/b 'ye bağlı olarak Şekil 10 ve 11 yardımıyla bulunabilir. (Kaynak 3),

$b_{(ort)}$ Yükleme havuzu ort. genişliği (m)

L: Dolusavak kret uzunluğu (m)

$h_{(ort)}$: Yükleme havuzu ort. su derinliği (m)

Δh : Kabarma (dalga yüksekliği) (m)

$$\varnothing: \frac{\Delta h}{h}$$

v_o . Türbinlerin kapanmadan önce yükleme havuzundaki akım hız. (m/s)

$$\frac{2}{3} \mu \sqrt{2gh} L (\Delta h)^{3/2} : \text{Dolusavak kapasitesi (m}^3/\text{s)}$$

$$\frac{2}{3} \mu = m, \mu = 0.65 \sim 0.70$$

Tam kapasitede debi: 68.50 m³/s

$$b_{(\text{ort})}: 48 \text{ m}, \quad h_{(\text{ort})}: 12 \text{ m}$$

$$\mu = 0.70, L = 48 \text{ m}$$

$$v_o = 68.50 / 48 \times 12 = 0.12 \text{ m/s}$$

$$v = \frac{0.12}{\sqrt{g \times 12}} = 0.01$$

$$L/b = 1.00, \varnothing = 0.02$$

$$\Delta h = 0.02 \times 12 = 0.24 \text{ m}$$

$$\text{maks } \Delta h = 1.5 \times 0.24 = 0.36 \text{ m}$$

Türbinlerin ani olarak devreden çıkması halinde, yukarıda verilen örneklerden görüleceği üzere, dolusavak kretinde kabarma yüksekliği $\Delta h = 0.60 \text{ m}$ dir.

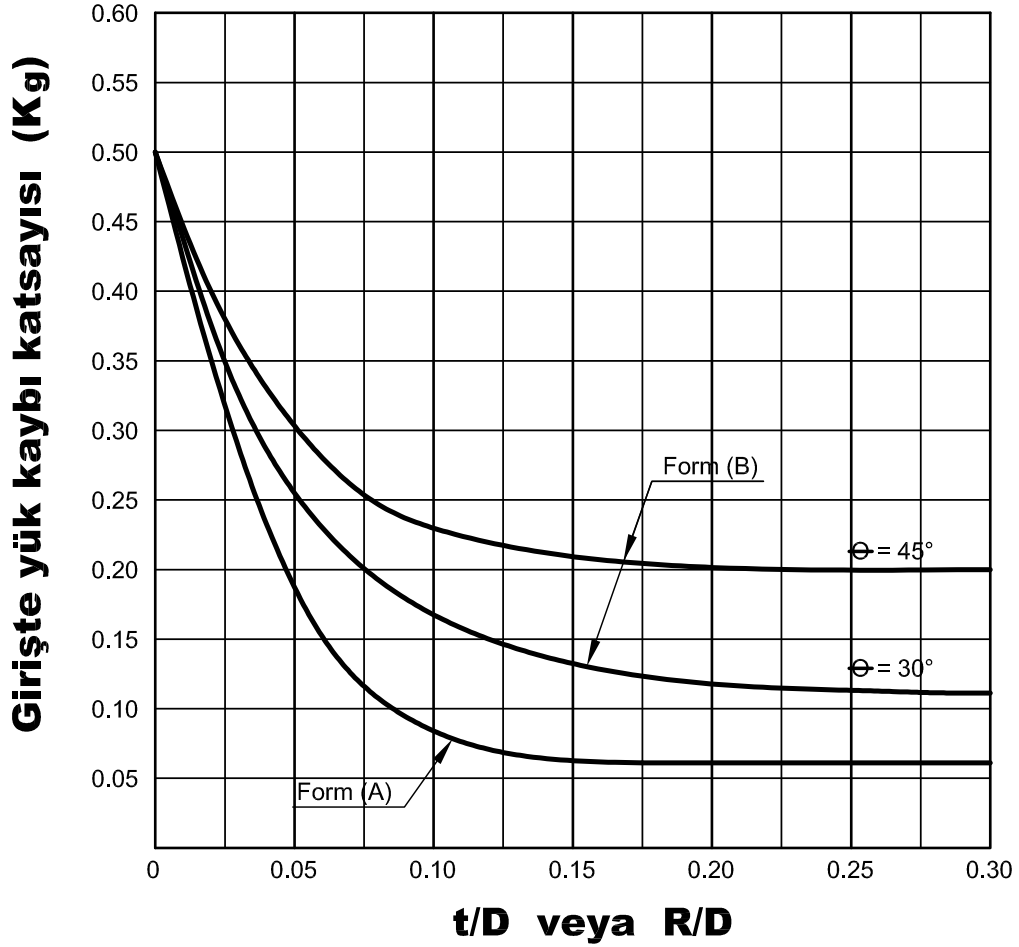
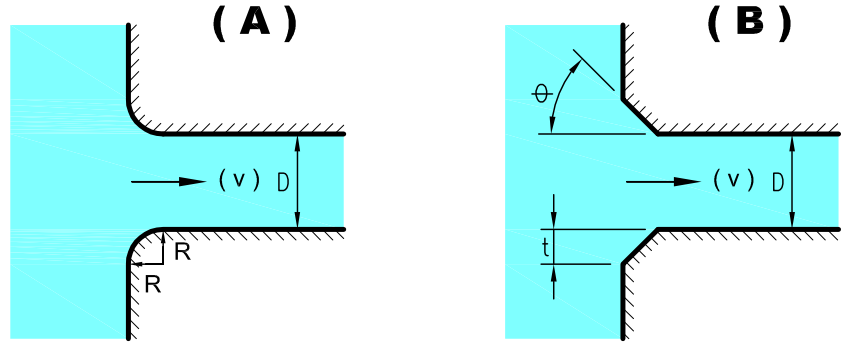
Diğer taraftan dolusavağın, iletim kanalının kapasitesi olan $Q = 68.50 \text{ m}^3/\text{s}$ debiyi geçirebilmesi için gerekli olan su yükü;

$$68.50 = CL (\Delta H)^{3/2}$$

$$C = 2.0, L = 48 \text{ m}$$

$$\Delta H \approx 0.80 \text{ m} > 0.60 \text{ m}$$

Bu durum karşısında, yükleme havuzunda olabilecek maks. kabarma yüksekliği (0.60 m) dolusavak yükünden ($\Delta H = 0.80 \text{ m}$) daha azdır.



Şekil 8. Giriş ağızı formuna göre yük kaybı katsayısı (Kaynak 1)

$$\text{Giriş ağızında yük kaybı } \Delta h_g = K_g \frac{V^2}{2g}$$

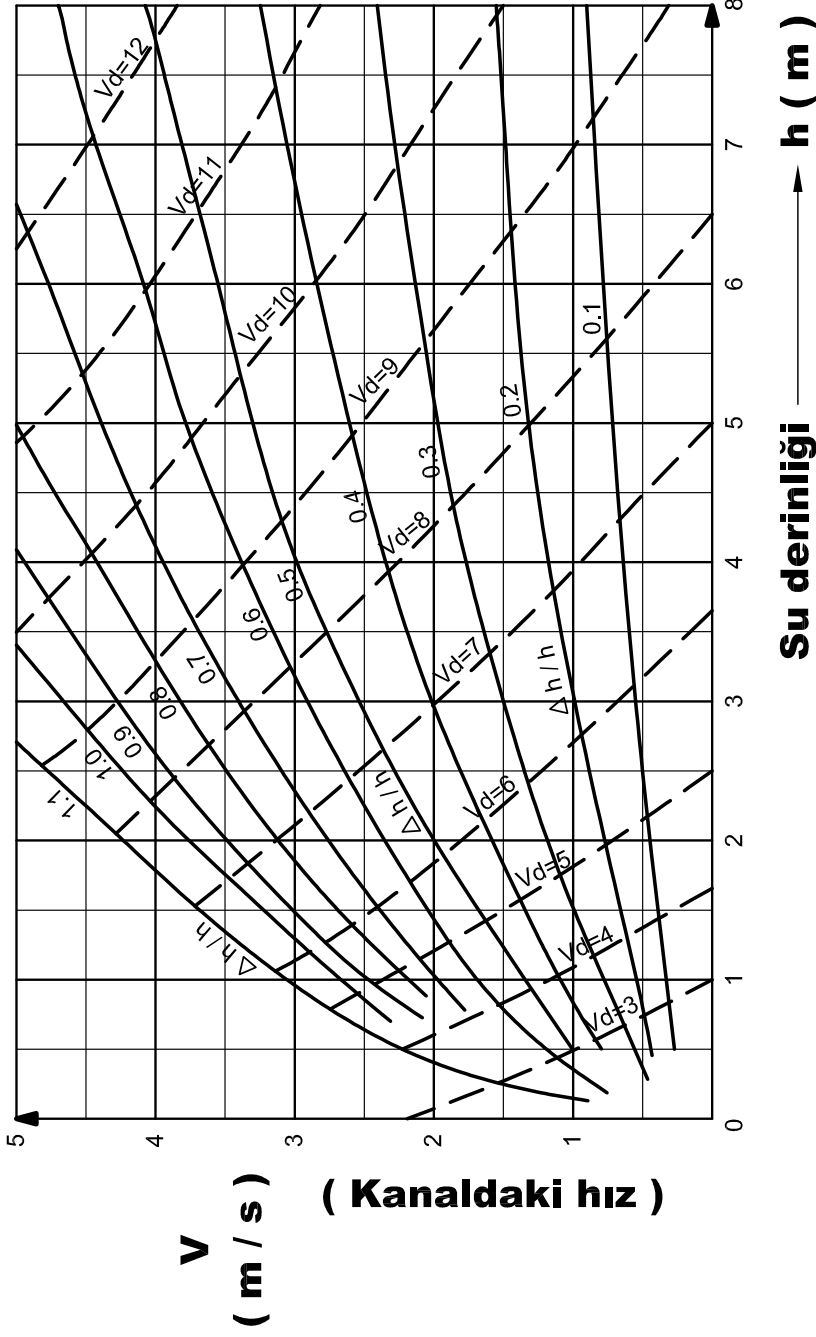
v : tünel / cebri boru girişinde hız (m/s)

Örnek : 1) D = 3.20 , v = 3.73 m/s , R = 0.80

$$R/D = 0.80 / 3.20 = 0.25 \longrightarrow K_g \approx 0.05$$

2) D = 3.20 , v = 3.73 m/s , $\Theta = 30^\circ$

$$t/D = 0.40/3.20 = 0.125 \longrightarrow K_g \approx 0.15$$



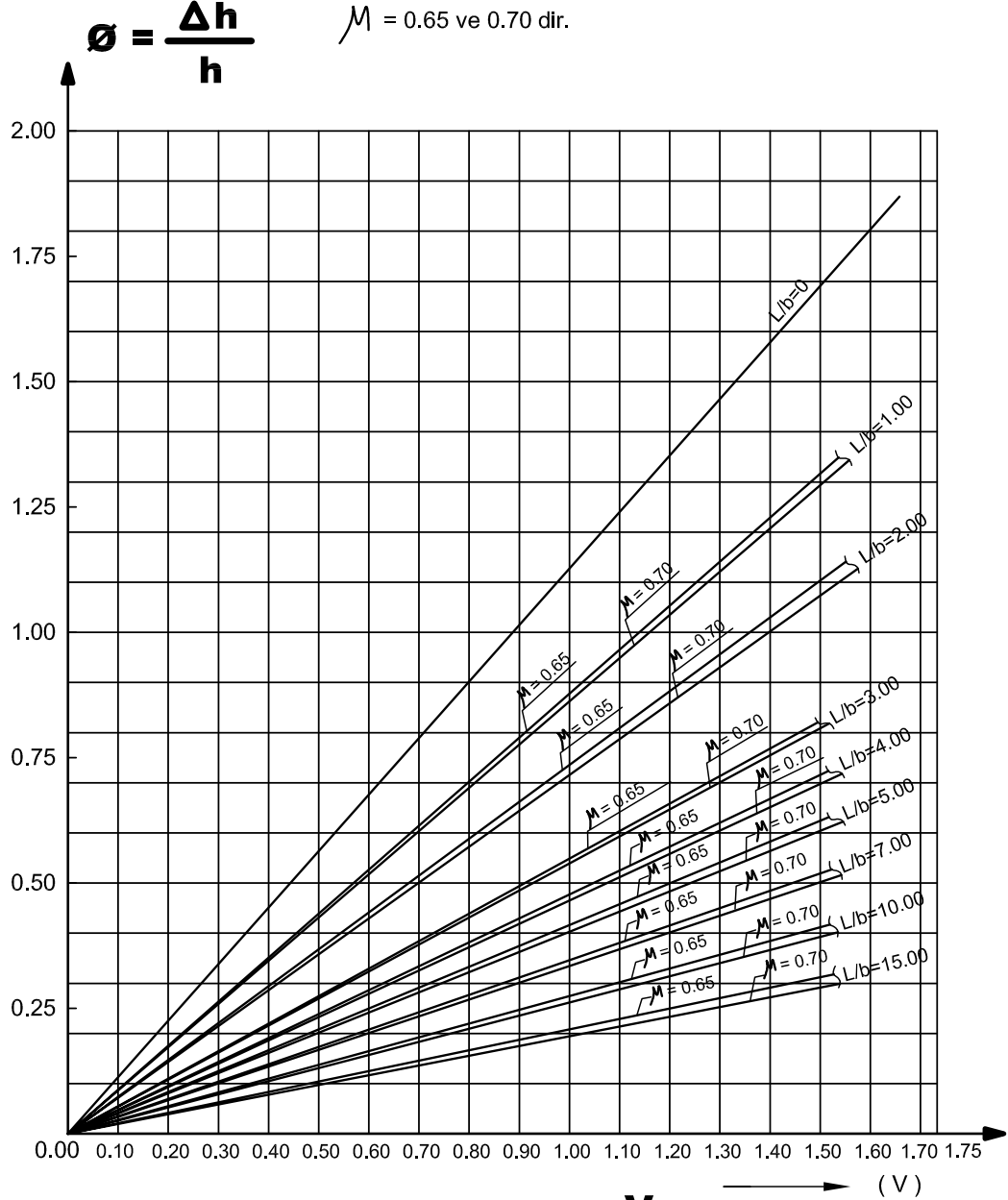
**Şekil 9. Dikdörtgen kesitli açık kanallarda kapakların ani kapanması
 Sonucu meydana gelen permanan olmayan akımda
 Dalga yüksekliği (Δh) ve dalga hızı (V_d) (Kaynak 3)**

$$\emptyset = f(v)$$

$$v = \frac{v_0}{\sqrt{gh}} = \frac{1}{1+\emptyset} \left(\emptyset + \frac{3}{4} \emptyset^2 + D\emptyset^{3/2} \right) \text{ olup burada :}$$

$$D = \frac{2}{3} \mathcal{M} \sqrt{2} \frac{L}{B} = \sqrt{2} \left(m \frac{L}{B} \right) ; \frac{2}{3} \mathcal{M} = m$$

$$\mathcal{M} = 0.65 \text{ ve } 0.70 \text{ dir.}$$



Şekil 10. $\emptyset = \Delta h / h$ 'nin $V = \frac{V_0}{\sqrt{Vgh}}$ 'nın fonksiyonu olarak değişimi (Kaynak 3)

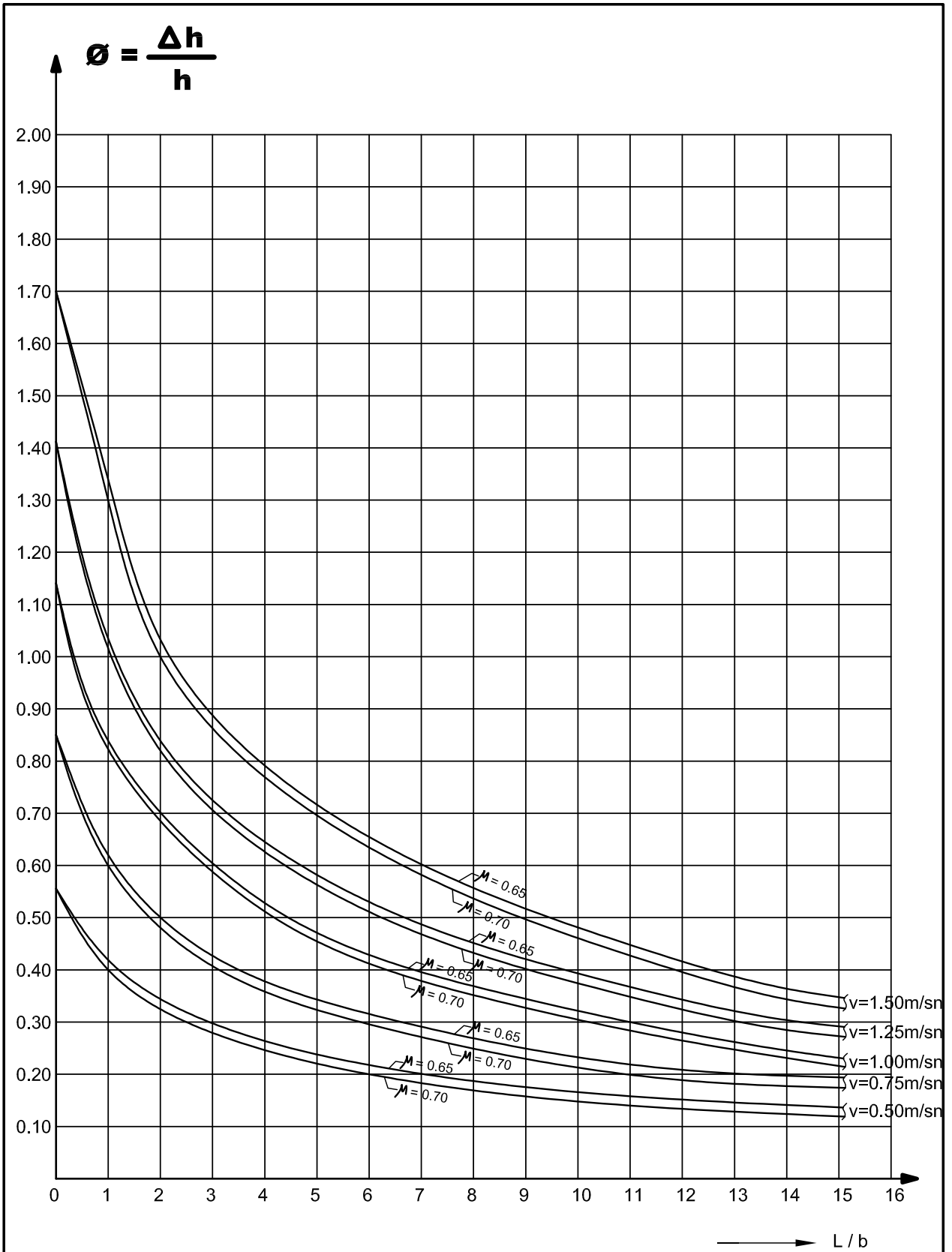
Δh = Kabarma (dalga yüksekliği) (m)

h = Yükleme havuzunda su derinliği

L = Dolusavak kret uzunluğu (m)

b = Yükleme havuzu ort. genişliği (m)

V_0 = Türbinlerin kapanmadan önce yükleme havuzundaki akım hızı (m/s)



Şekil 11. $\phi = \Delta h / h$ 'in L/b 'nin fonksiyonu olarak değişimi (Kaynak 3)

4.4. Vorteks (Girdap) Durumu

4.4.1. Vorteks Oluşumuna Tesir Eden Faktörler ve Vorteksin Zararları

Hidrolik türbinler üniform yani düzgün akım şartların göre çalışacak tarzda tasarlanmıştır. Sualma yapısından cebri borulara giren akımın üniformsuzluğu büyük ise bu durum türbin verimini etkileyecektir.

Sualma yapısı giriş ağzında vorteks oluşumuna tesir eden faktörler (Kaynak 1,2);

- Projenin tertip şekli, tecrübeler düşey olarak (kuyu gibi) tertip edilmiş giriş ağzlarının yatay alışı giriş ağzlarına kıyasla vorteks oluşumuna daha yatkın olduğunu göstermiştir.

Sualma yapısına suyun yaklaşım ve giriş şartları, sualma yapısı civarında simetrik olmayan durum, çıkıntılı duvarlar ve dişler , tertip tarzından gelen bozukluklar etkili çevrıntilere sebep olabilir.

- Cebri boru ağzının batık durumu (Şekil 12 ve 13);

S: Cebri boru giriş ağzı üzerindeki su tabakasının kalınlığı yani cebri borunun batık durumu (m)

D: Cebri boru çapı (m)

v: Cebri boru giriş hızı (m/s)

S/D oranının büyüklüğü vorteks oluşumunu azaltmaktadır.

- Cebri boruya girişte Froude sayısının ($F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}}$ küçük (≤ 0.5) olması arzu edilmektedir.
- Suyun giriş ağzına yaklaşımı bir açı altında ise çevrintiye sebep olabilir.
- Froude sayısının 0.5 den daha büyük olması durumunda S/D oranının vorteks oluşumuna çok etkili olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte bu şartların altında bulunan bazı sualma yapıları giriş ağzı önünde vorteks olayına rastlanılmamıştır. Bunun en büyük nedeninin akımın sualma yapısına olan çok iyi ve uygun bir şekilde yaklaşım durumu olduğu söylenebilir. Bu durum

Froude sayısının büyük olması halinde bile vorteks oluşumunu önleyebilmektedir.

Vorteks oluşumundan kaçınmak için en önemli husus, sualma yapısının projelendirilmesinde cebri borunun yeteri kadar batık olması ve düzgün akım şartlarının sağlanmış olmasıdır. Vortekse karşı bu konuda belirli bir projelendirme rehberi ve kriteri olmayıp tamamen deneyimlerden ve hidrolik model çalışmaları sonuçlarından yararlanılmaktadır. Hidrolik model çalışmalarında genellikle vorteks durumu incelenmekte ve vorteks oluşumunu yok etmek için projede yapılacak iyileştirmeler belirlenmektedir.

Sualma yapısı giriş ağzında meydana gelen hava emici vorteks, genel olarak aşağıda belirtilen zararlı etkileri doğurur;

- Akımı azaltır, cebri borunun kapasitesini etkiler
- Giriş ızgarasında, cebri boruda ve türbinde vibrasyona sebep olur
- Cebri boruya permanan olmayan akımın girmesine sebep olarak türbinin verimini azaltır ve kavitasyona sebep olur.

Bu itibarla sualma yapısı önünde vorteks oluşumunun önlenmesinde projelendirme ve hidrolik model çalışmaları büyük önem arz etmektedir.

4.4.2. Vorteks Oluşumuna Karşı Alınacak Önlemler

Vorteks oluşumuna mani olmak için sualma yapısında cebri boru giriş ağzının yeteri kadar batık olması gerekir. Yerine getirilmesi gerekli görülen hidrolik şartlar aşağıda verilmiştir.

(1) Şekil 12 (Kaynak 6)dan

Kritik olan 2 veya 3 nolu eğrilerden F_r sayısından bulunacak S/D oranından →
S

(2) Sualma ağızı yüksekliği H_e (Şekil 13)'den

$$S \geq 0.8 H_e$$

(3) J.S. Gulliver (Kaynak 1)

$$F_r < 0.50 \text{ ve}$$

$$S > (0.5 + 0.4 F_r) D \text{ veya}$$

$$S > 0.7 D \text{ olmalı}$$

(4) J.L. Gordon (Kaynak 1,2)

$$S \geq 0.725 \times (v) \times (D)^{1/2}$$

Genel bir görüş $S/D > 0.7$ ve $F_r < 0.5$ olması halinde vorteks oluşumu zayıf bir ihtimal olarak görülmektedir.

Cebri borunun yeteri uzunlukta olması bir başka ifade ile cebri borudaki sürtünme kaybı ve türbin kılavuz kanatları (guide vanes) küçük çevrinti ve vortekslerin kaybolmasını sağlayabilmektedir.

Yukarıda verilen ifadelerde sualma yapısı giriş ağzı önünde vorteks oluşumunun kontrolü için (v) hızı ve D'nin belirlenmesinde kullanılacak en uygun kesit yerinin (Şekil 13) batardo veya işletme kapağı eksenine olacağı vurgulanmıştır.

Zararlı vorteks oluşumuna karşı aşağıda belirtilen önlemler etkili olmaktadır

(Kaynak 1).

i) Akımın Düzenlenmesi

Transizyonlarda ve tertip edilen yapılarda dalga ve türbülans meydana getiren keskin köşelerden kaçınılmalı ve akımın sualma yapısı girişinden önce perdelerle (deflektörler) ile kılavuzlanarak meydana gelecek çevrinti ve sirkülasyonların önlenmesi.

ii) Sualma Yapısı Giriş Ağzı Önünde Çevrintilerin Azaltılması

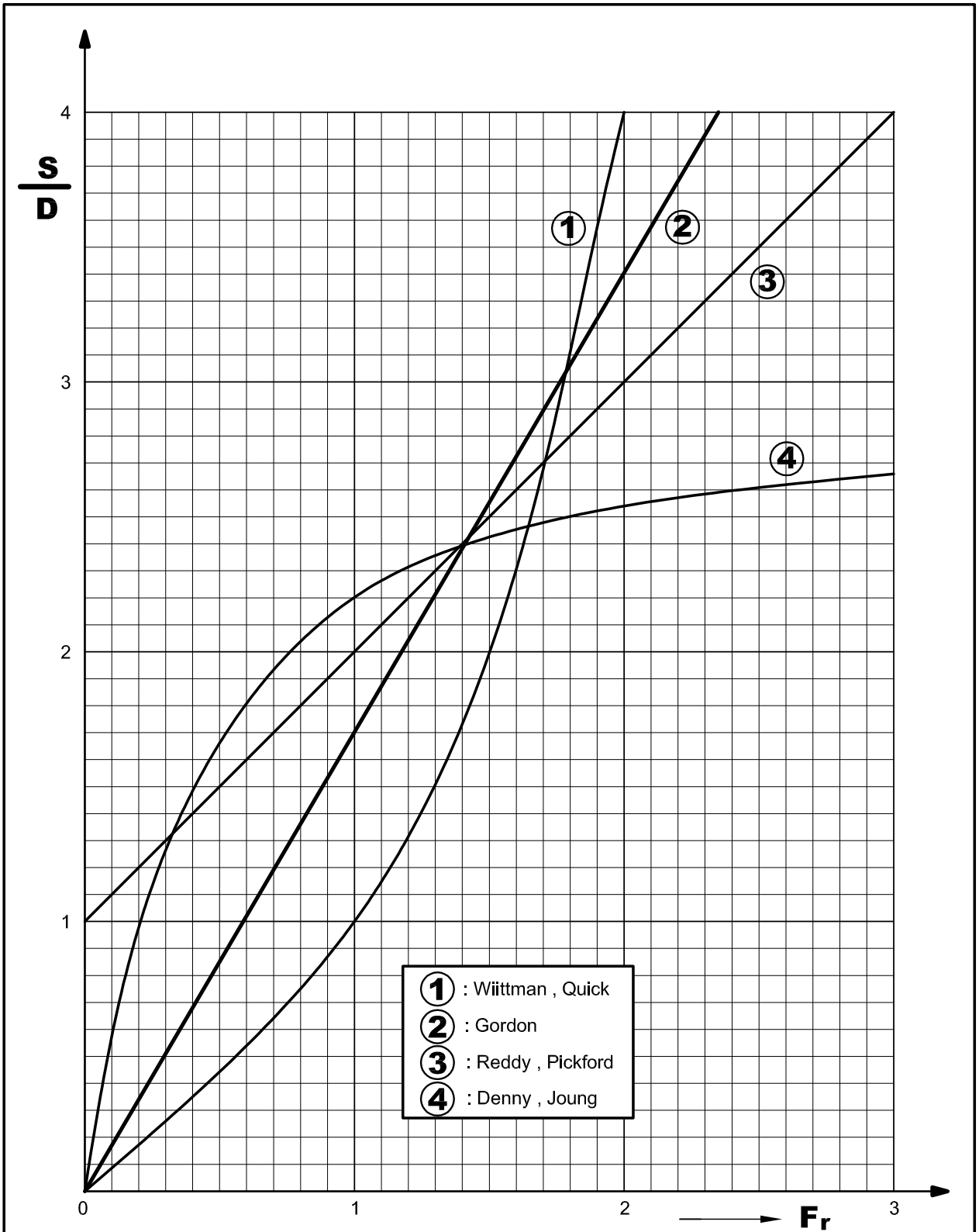
Bu konuda (Şekil 14a, b) yüzen ve batık sal başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Diğer taraftan giriş ağzı önüne yerleştirilen ızgaralardan da başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Giriş ağzının üst kısmına yerleştirilen kama tipi de (Şekil 14 c) vorteks azaltıcı da bu konuda kullanılan diğer bir tertibattır.

Giriş ızgaraları önüne yerleştirilen delikli levhalarda çevrintiyi azaltan bir başka önlemdir.

iii) Giriş Ağız Önünde Yaklaşım Hızının Azaltılması

Vorteks oluşumunu önlemek için diğer etkili bir yol giriş yapısının büyütülerek yaklaşım hızının azaltılması ve sualma yapısında şekil ve form iyileştirilmesine özen gösterilmesidir.



Şekil 12. Hava emmeyen vorteks durumu (Kaynak 6)

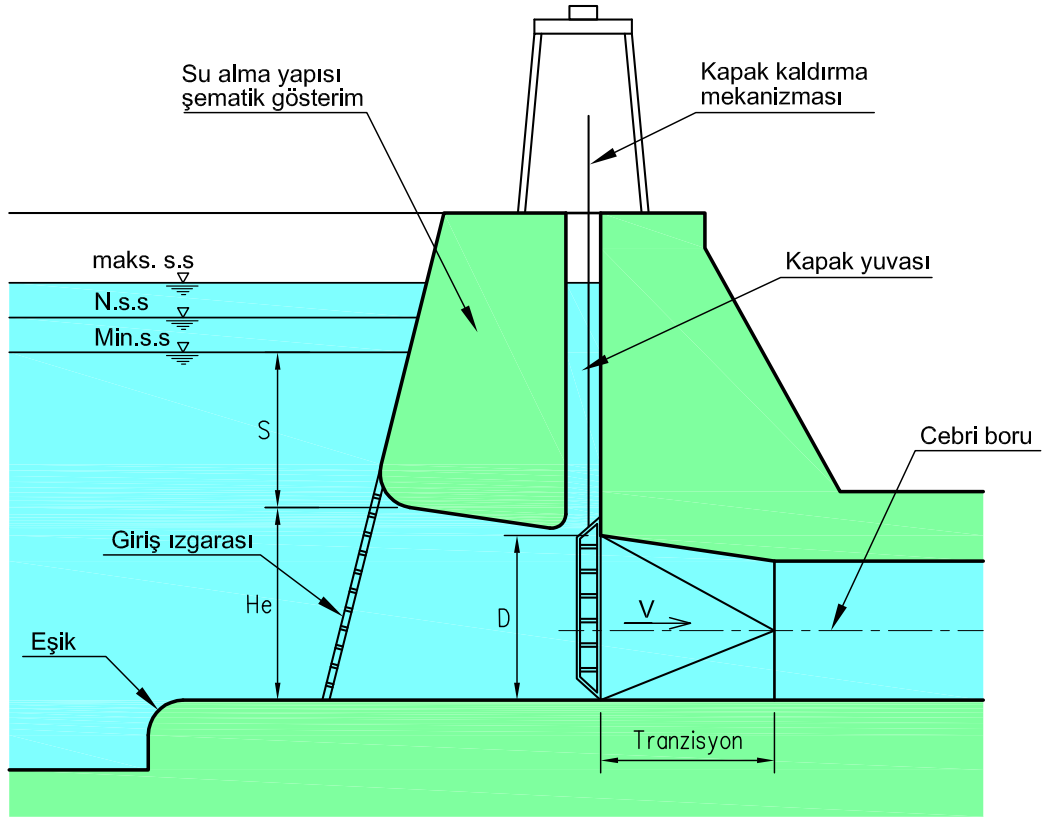
S : Cebri boru giriş üzerindeki su tabakasının kalınlığı (m)

D : Basıncılı çalışan tünel / cebri boru çapı (m)

v : Tünel / cebri boru giriş ağzındaki hız (m/s)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s²)

$Fr : \frac{v}{\sqrt{gD}}$ Froude sayısı



Şekil 13. Su alma yapısında giriş ağzının batıklık durumu için S, D ve v değişkenlerinin yerleri (Kaynak 1)

- Maks. S.S. : Dolusavak tam kapasite ile çalışıyor ve kabarma etkisi dikkate alınmıştır.
- N.S.S. : Türbinler iletim kanalı debisi ile çalışıyor (dolusavaktan su atılmıyor)
- Min. S.S. : Türbinlerin aniden devreye girmesi durumunda düşen su seviyesi

Örnek (Hamzalı HES) :

$$\text{Kapak ekseninde hız } v = \frac{68.50}{4.5 \times 3.3 \times 2} = 2.3 \text{ m/s}$$

$$F_r = \frac{2.3}{(9.81 \times 3.3)^{1/2}} = 0.40$$

Şartların kontrolü

$$(1) F_r = 0.40 \quad \begin{array}{l} 2 \text{ nolu eğriden } S/D = 0.7, S = 3.15 \text{ m} \\ 3 \text{ nolu eğriden } S/D = 1.3, S = 5.85 \text{ m} \end{array}$$

$$(2) H_e = 5.30, S = 0.8 \times 5.30 = 4.24$$

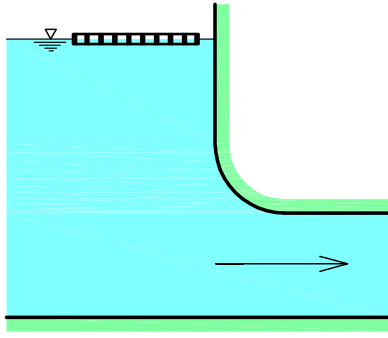
$$(3) F_r = 0.40 < 0.50$$

$$S > 0.7 \times 4.50 = 3.15 \text{ veya } (0.5 + 0.4 \times 0.4) \times 4.50 = 2.97$$

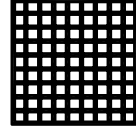
$$(4) S > 0.725 \times 2.3 \times (4.5)^{1/2} = 3.53$$

SONUÇ : Gerekli olan S (maks) = 5.85 m dir. Projede sağlanmış olan ise S = 7.10 m. dir.

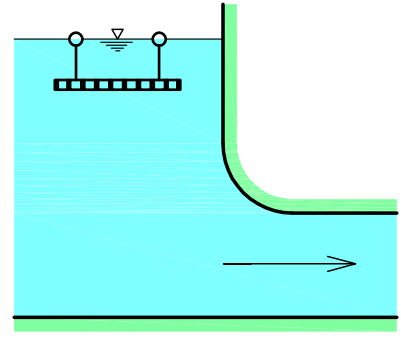
**Şekil 14. Su alma yapısı önünde
Vorteks önleyiciler (Kaynak 1)
(Şematik gösterim)**



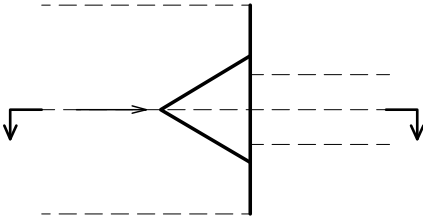
(a) Yüzen sal



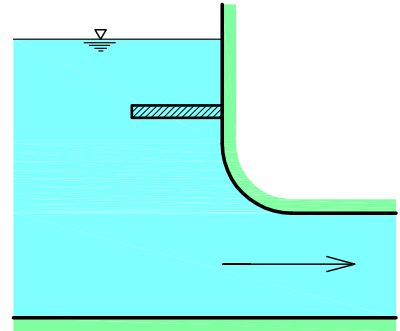
**Salın üstten
görünüşü**



(b) Batık sal



(c) Kama tipi



(d) Uzanan levha

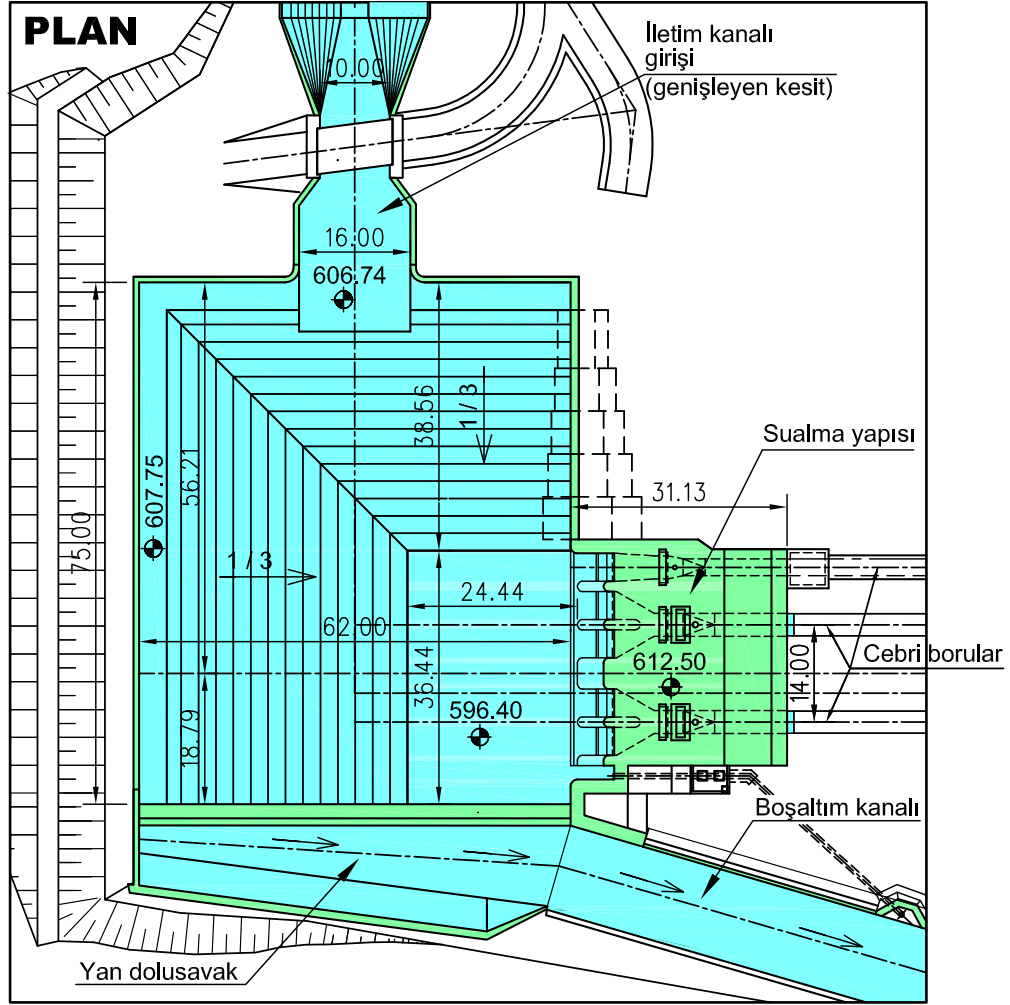
(e) Giriş ızgarası da (vorteks önlemede yardımcı olan bir donanımdır.)

4.5. Yükleme Havuzu Örnekleri

Değişik özelliklere sahip yükleme havuzlarının plan ve kesitleri örnek olarak ekte sunulmuştur.

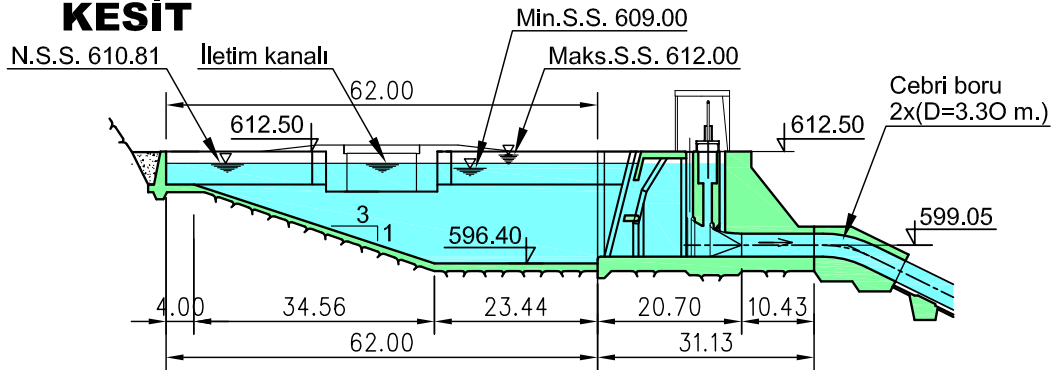
- Kızılırmak-Hamzalı HES Şekil 15
- Reşadiye (HES 3.3) Şekil 16
- Creola HES (İtalya) Şekil 17
- Leaburg HES (ABD) Şekil 18
- Ititunga HES Şekil 19
- Erzincan Girlevik Şekil 20
- Kovada II HES Şekil 21

Şekil 15. KIZILIRMAK - HAMZALI HES YÜKLEME HAVUZU



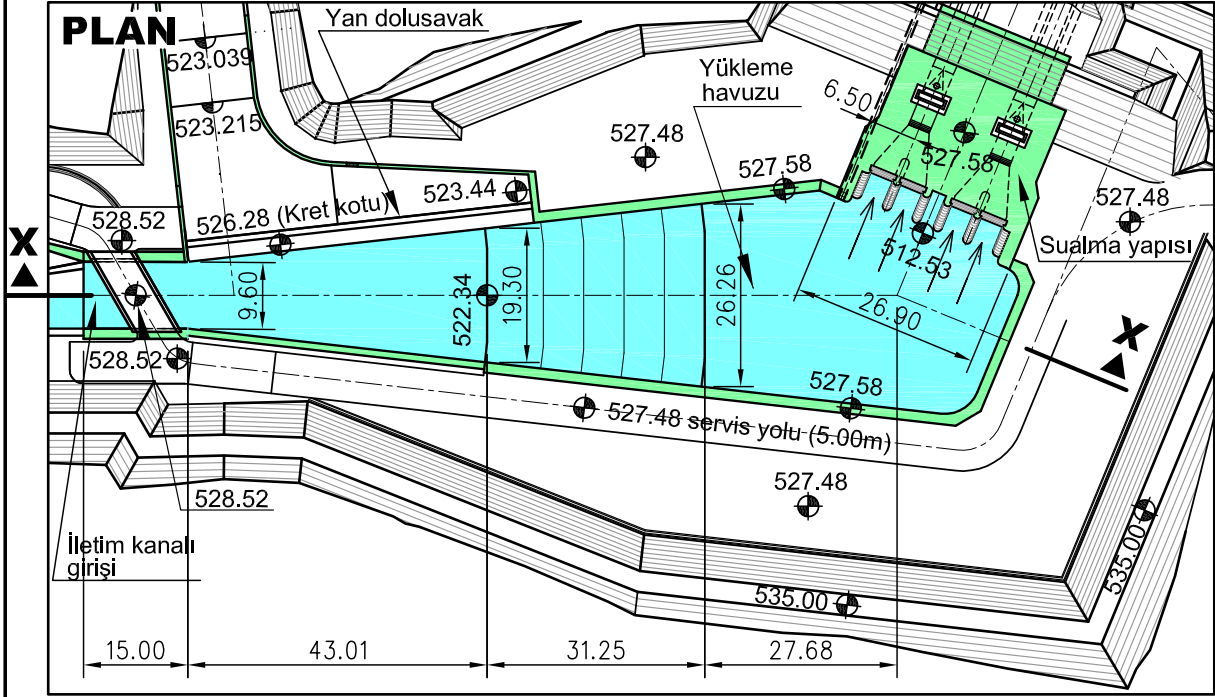
Yükleme havuzu toplam hacim $\approx 42\ 000\ m^3$
 Yükleme havuzu aktif hacim = $8\ 400\ m^3$

KESİT



- $Q_{maks.} : 68.50\ m^3/s$; İki cebri boru ; $D=3.30\ m.$, debisi = $34.25\ m^3/s$
- Vorteks (girdap) durumu ;
 İşletme kapağında kesit ; $b = 3.30\ m.$, $d = 4.50\ m.$, $v = \frac{34.25}{3.3 \times 4.50} = 2.3\ m/s$
 Froude sayısı $F_r = 2.30\ m. (9.81 \times 3.30)^{-1/2} = 0.40$
 Şartların kontrolü ;
- Şekil 12'den (3 nolu eğri daha kritik) $F_r = 0.40 \rightarrow S/D = 1.4$ mevcut : $\frac{6.30}{4.50} = 1.40$
- Su alma ağız genişliği $H_e = 5.30$, $S = 0.80 \times 5.30 < \text{mevcut } S = 6.30$
- J.S. Gulliver $F_r = 0.40 < 0.50$
 $S/D \geq 0.5 + 0.4$, $F_r = 0.66 < 1.40$, veya $S/D > 0.7$
- J.L. Gordon $S \geq 0.725 \times v \times D^{1/2} = 0.725 \times 2.3 \times (4.5)^{1/2} = 3.55 < 6.30$

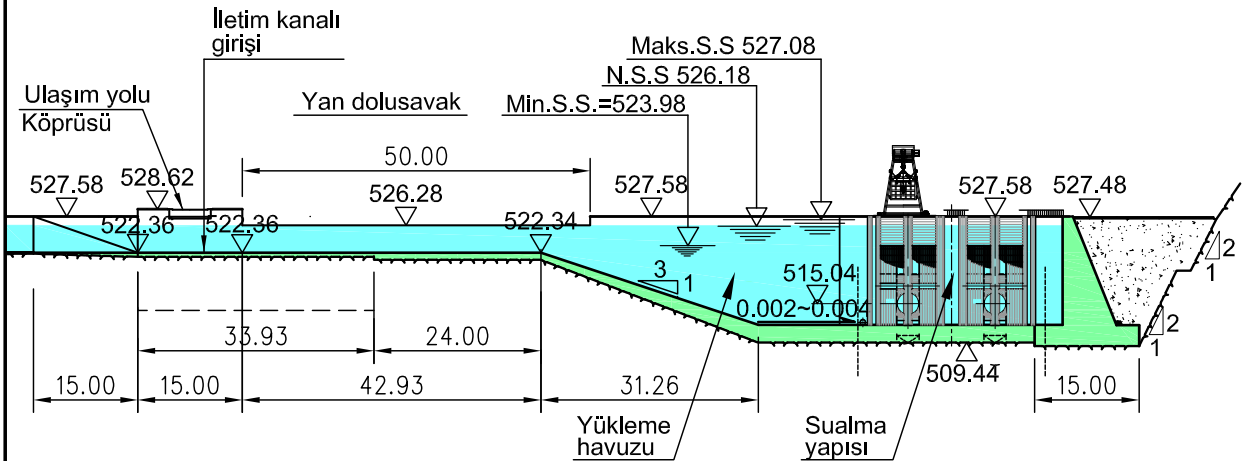
Şekil 16. REŞADIYE HES (3 - 3) YÜKLEME HAVUZU

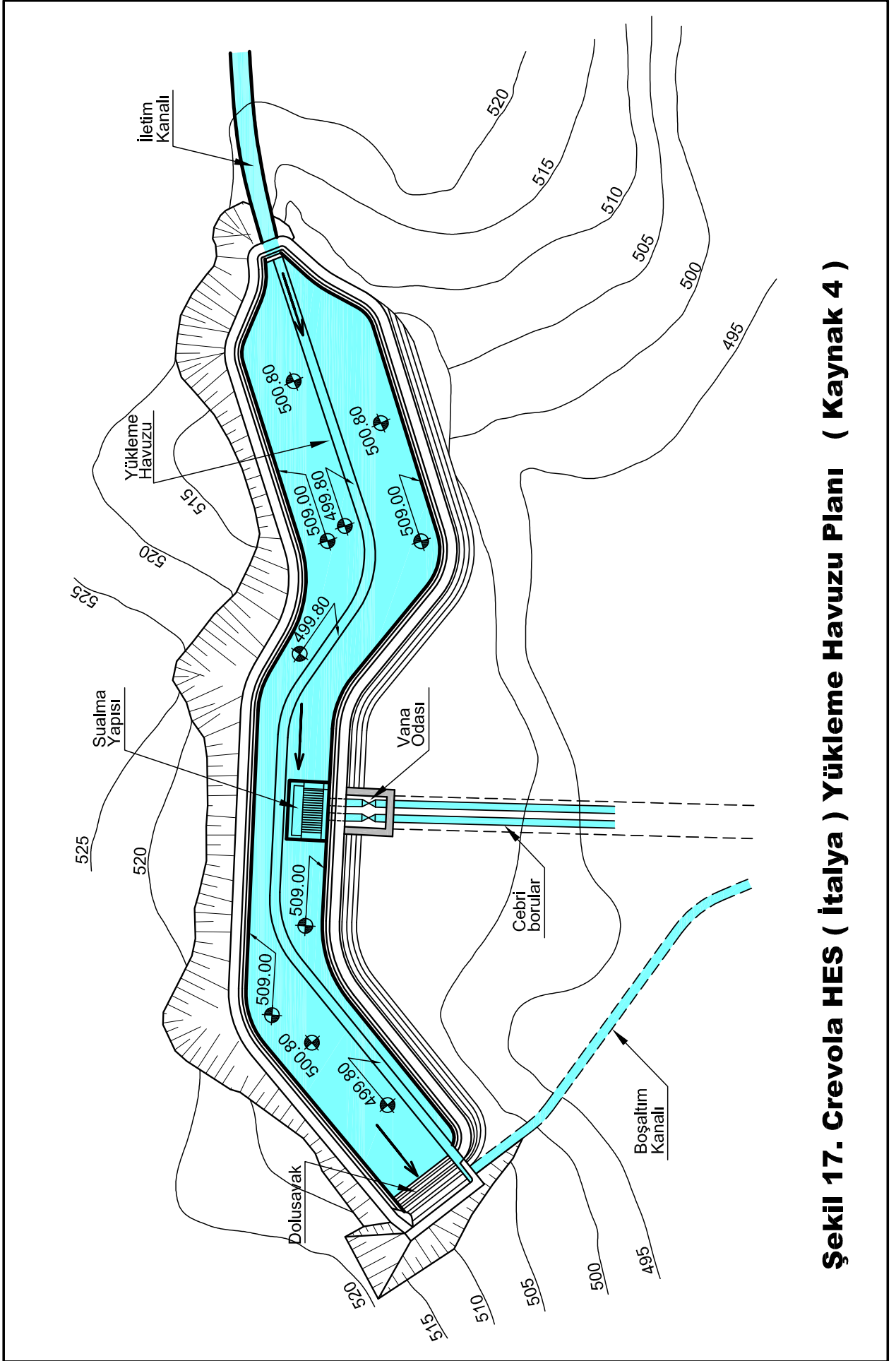


Yükleme havuzu toplam hacim = 23 500 m.³
Yükleme havuzu aktif hacim = 5 150 m.³

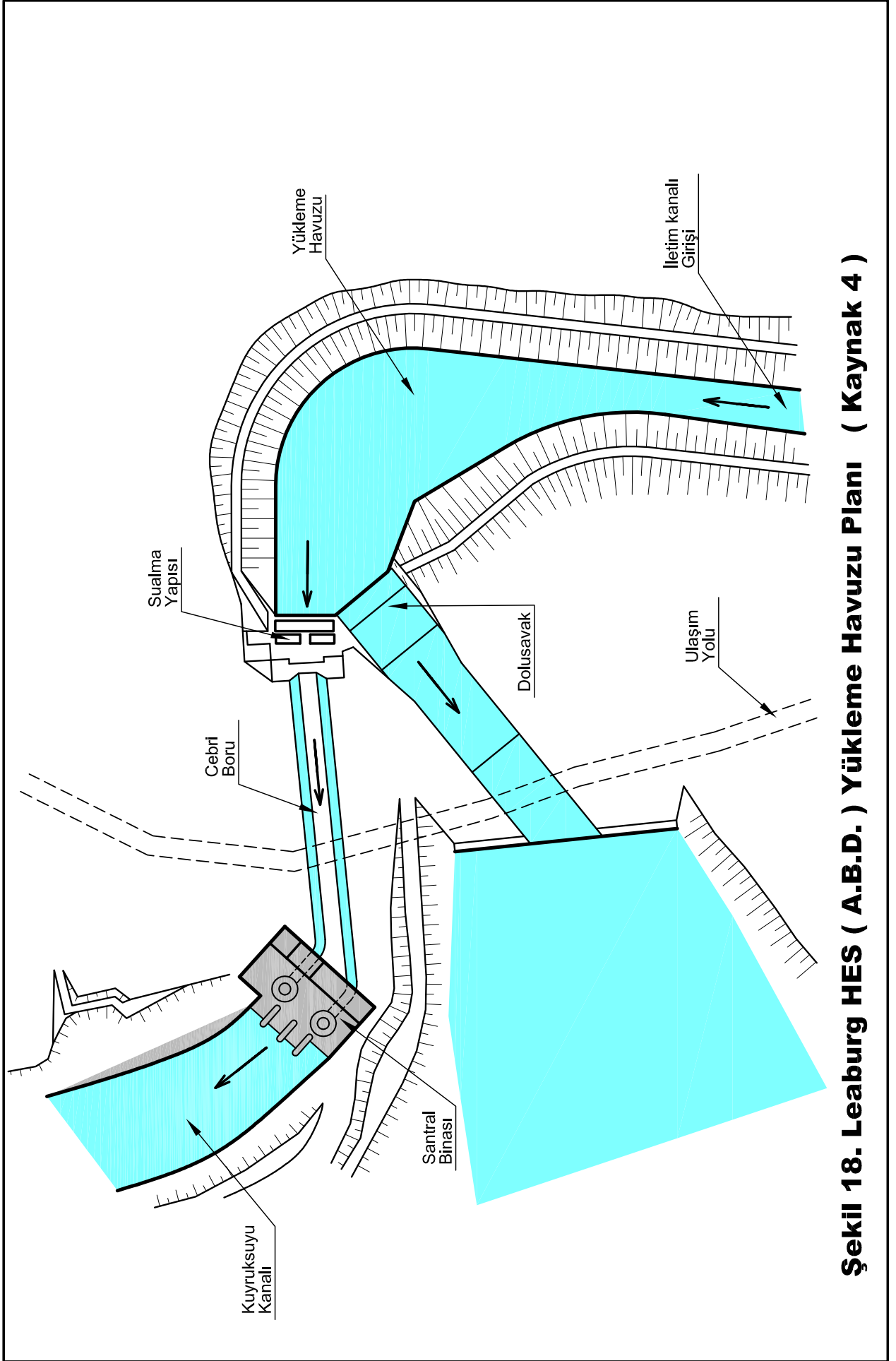
- Qmaks. : 60 m³ / s ; İki cebri boru ; D=3.20 m. , debisi = 30 m³ / s
- Vorteks (girdap) durumu ;
İşletme kapağında kesit ; 3.20 m. x 4.30 m., v = 2.2 m / s
Mevcut S = 5.44 m. Fr = 0.39
- Şekil 12 3 nolu eğriden S/D = 1.4 mevcut = $\frac{5.44}{4.30} = 1.70$
- He = 5.90 , S = 0.80 x 5.90 < mevcut 5.44
- J.S. Gulliver Fr = 0.39 < 0.50 ; S/D = 0.70 < 1.70
- J.L. Gordon S > 0.725 x v x 4.3^{1/2} = 3.30 < 5.44

X - X KESİTİ

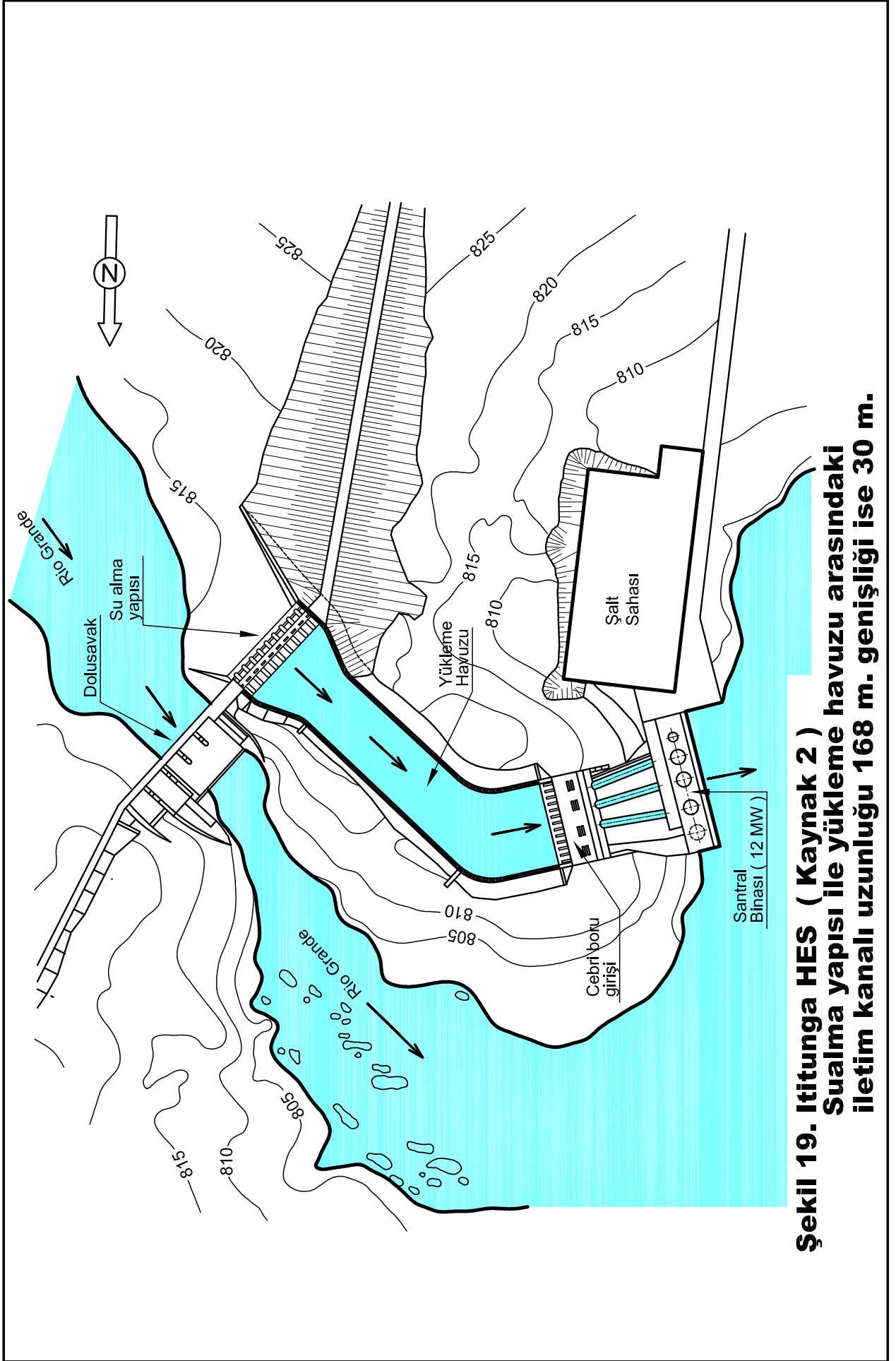




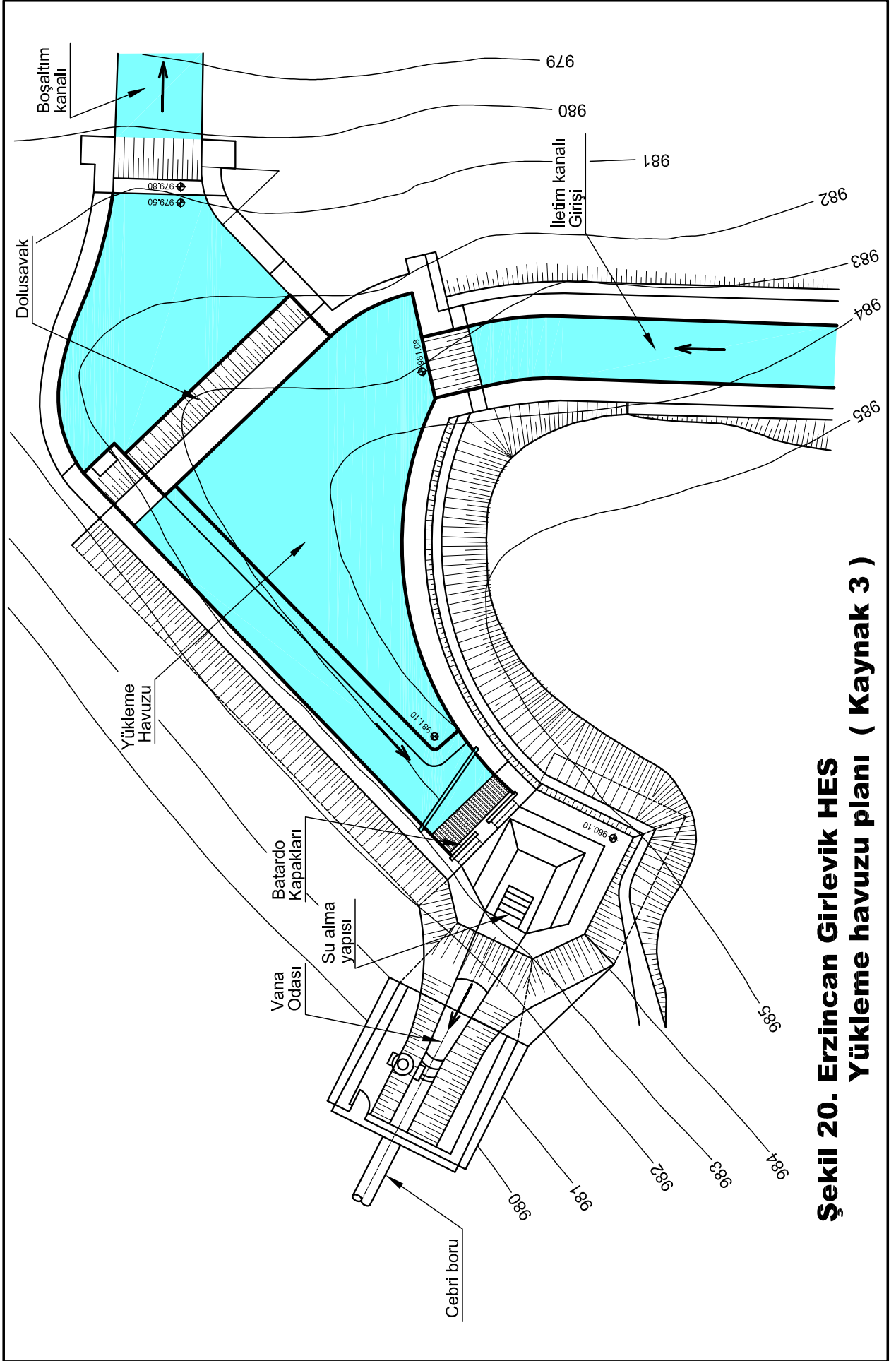
Şekil 17. Crevola HES (İtalya) Yükleme Havuzu Planı (Kaynak 4)



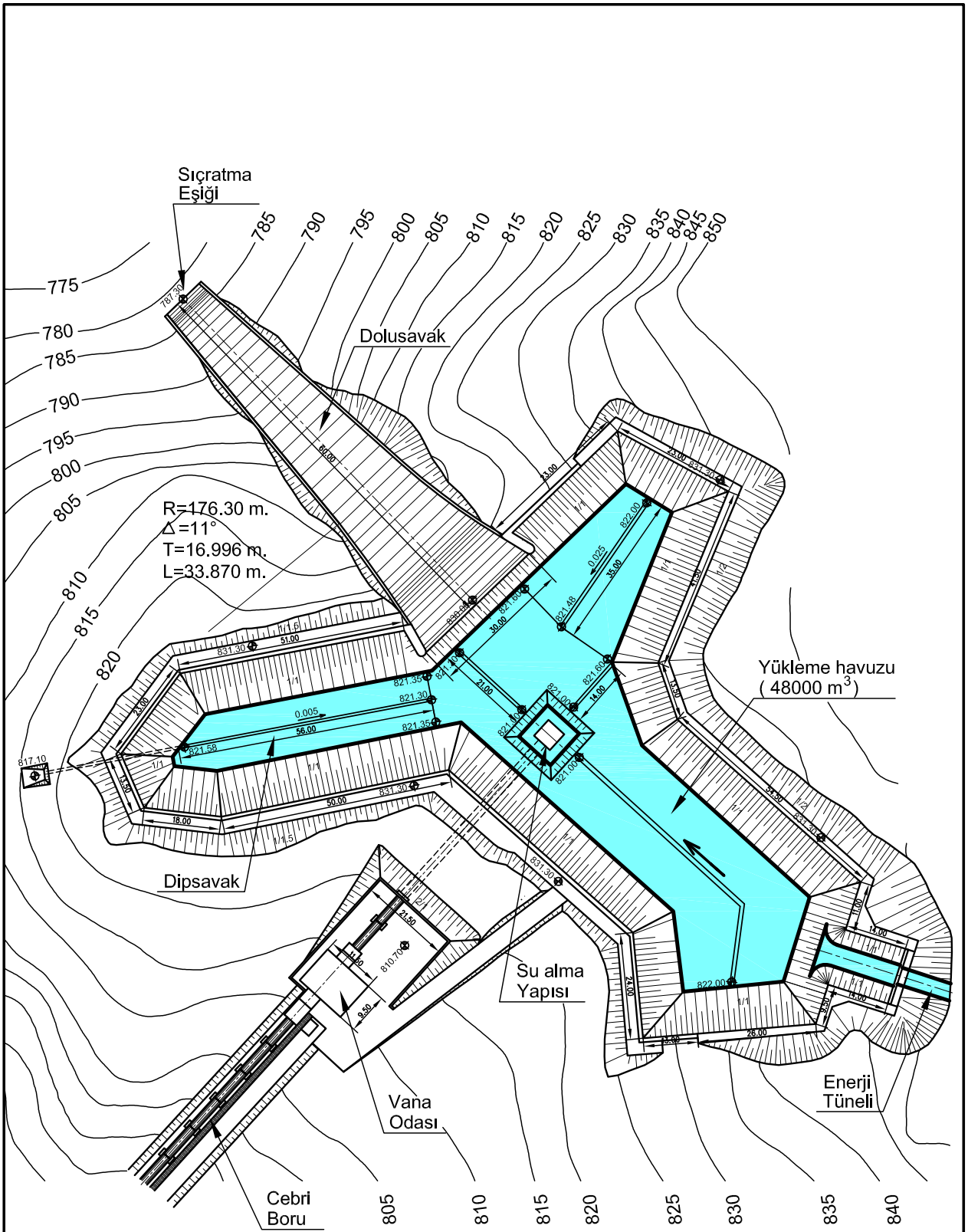
Şekil 18. Leaburg HES (A.B.D.) Yükleme Havuzu Planı (Kaynak 4)



**Şekil 19. Ititunga HES (Kaynak 2)
Su alma yapısı ile yükleme havuzu arasındaki
iletim kanalı uzunluğu 168 m. genişliği ise 30 m.**



Şekil 20. Erzincan Girlevik HES Yükleme havuzu planı (Kaynak 3)



**Şekil 21. Kovada II Yüklem havuzu planı
(Kaynak DSİ Kovada II Kati proje albümü)**

KAYNAK LİSTESİ

- (1) John S. Gulliver and Roger E.A. Arndt
Hydro Power Engineering Handbook, 1991
- (2) MOSONYI Emil
Low. Head/High-Head Power Plants, 1987
- (3) TOPKAYA Hamdi
Yükleme Odaları DSİ G. Yayını No: 392, 1962
- (4) DÖNMEZER Hayrettin
Su Kuvveti Tesisleri, Teknik Okulu Yayınları: 55, 1951
- (5) COFCOF Şefik
 - Kanal Santrallerinde Genel Boyutlandırma Esasları
(Genişletilmiş Baskı) DSİ Temmuz 1996
 - Tünel Maliyetleri
DSİ Teknik Bülteni Sayı: 77, 1992
- (6) YILDIZ Kadir
Hidroelektrik Santraller Hesap Esasları ve Projelendirilmesi DSİ Vakfı, 1992
- (7) U.S. Department of the Interior (Design Standard No:3 Water Conveyance System)
Bureau of Reclamation
- (8) JAMES J. DOLAND
Hydro Power Engineering, 1954
- (9) KAPIDERE Mehmet
DSİ Sulama Tesislerine Ait Maliyet Abakları, DSİ 1986
- (10) KIRIMLIOĞLU Sırrı
Dairesel ve Atnalı Kesitlerin Hidrolik ve Statiği
DSİ G. Yayını No: 509, 1965
- (11) DAVIS C.V., SORESEN K.E.
Handbook of Applied Hydraulics
- (12) TANER Nurettin
Hidrolik Örnekleri Cilt V, 1977