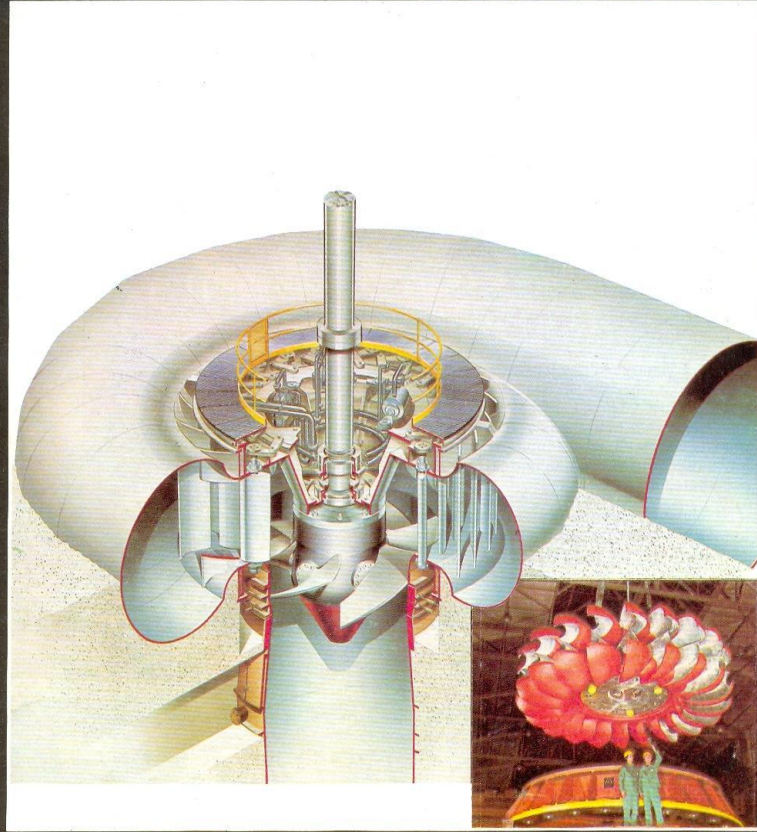


mühendis ve makina

325



TMMOB makina mühendisleri odası yayını ŞUBAT 1987



3.1. PELTON, FRANCIS VE KAPLAN TÜRBİNLERİNİN ANA BOYUTLARININ BİLGİSAYARLA BELİRLENMESİ

Asaf VAROL

Fırat Üniversitesi, ELAZIĞ

Son yıllarda Pelton, Francis ve Kaplan su türbinlerine ait ana boyutların belirlenmesinde önemli bazı değişiklikler olmuştur. Deneyimlerle elde edilen bilgiler diyagramlara dönüştürülmüş ve boyutlandırma ile ilgili işlemler kolaylaştırılmıştır. Su türbinlerindeki son teknolojik değişiklikleri içeren diyagramlar ışığında geliştirilen bir bilgisayar programı sayesinde, bilinen hacimsel debi ve düşü yardımıyla en uygun türbin tipi belirlenerek, o türbin tipine ait ana ölçüler elde edilebilmektedir. Bu bildiride Pelton, Francis ve Kaplan türbinleri tanıtılmakta ve bilgisayar programının akış diyagramı verilerek, bu alanda çalışanlara yardımcı olunması amaçlanmaktadır. Bilgisayar desteği ile boyutlandırılan Pelton, Francis ve Kaplan türbinlerinden birer örnek basit olarak üniversitemiz mekanik atelyesinde imal edilerek, öğrencilere bu setlerde ne tür deneylerin yaptırılabilirdiği konusunda bilgi verilecektir.

There have been some important changes in the determination of the main dimensions of Pelton, Francis and Kaplan hydraulic turbines recently. Knowledge obtained from experiences has transformed to the diagrams by means of curves, and operations related with dimensioning have been made easy. The most proper turbine type can be decided and the main dimensions of that turbine can be obtained by using known volume flow rate and head, and with the aid of a computer program developed in the light of the diagrams containing the last technological changes of hydraulic turbines in this publication, Pelton, Francis and Kaplan turbines are introduced; and it is aimed to help the people working on this area by giving the flow-chart of

the computer program. The samples of Pelton, Francis and Kaplan turbines, which are dimensioned with the aid of a computer, will be produced in the Machine-Shop of the University and will be informed about which type of experimente to be performed on these eate by the students.

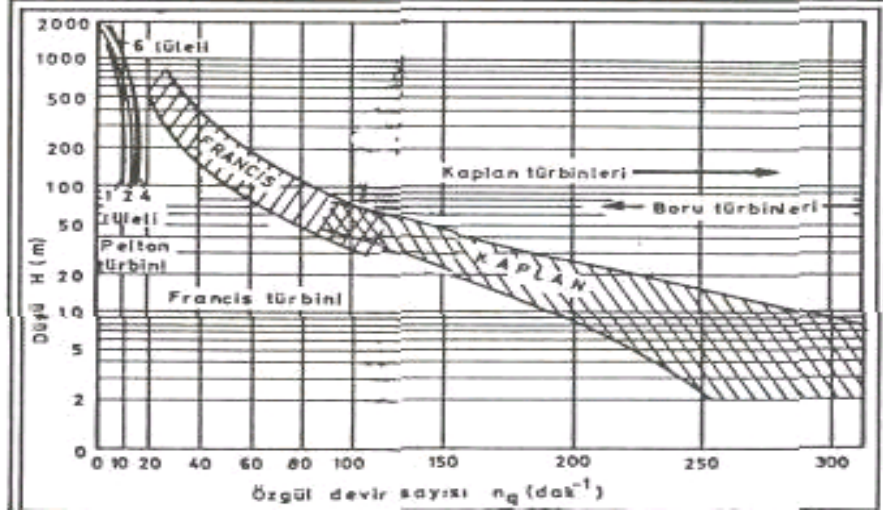
Enerji yetmezliği günümüzün en önemli sorunlarından birini oluşturmaktadır. Farklı enerji kaynakları içerisinde hidrolik su gücünden faydalanma, alışlagelmiş bir enerji türü olarak önemini sürdürmektedir. Türkiye su potansiyeli açısından şanslı bir ülkedir. Geçen yıllarda bu potansiyelin ancak az bir miktarından faydalanılabılmıştır. 1976 yılı başı itibariyle Türkiye'de 48 adet hidroelektrik santral çalışır durumda olup, toplam kurulu gücü 3898 MW'tır. Devreye girecek ve proje aşamasında hidroelektrik santrallerin sayısının 434'e ve toplam kurulu gücün 31188,14 MW'a çıkartılması hedeflenmiştir [1].

Elektrik üreten diğer santrallerin yanında hidroelektrik santrallerinin avantajı bu teknolojinin ülkemize girmiş olmasıdır. Diyarbakır'daki TEMSAN Fabrikası, Erzincan'daki TERCAN Hidroelektrik Santraline ait su türbinlerini imal etmektedir. 5 MW gücünde 3 üniteden oluşacak bu deneyim, tümüyle Türkiye'de imal edilmiş ilk Francis türbinleri olacaktır.

Debisi ve düşüşü az olan akarsular üzerine kurulabilen Ossberger türbin tipi, birkaç yıl önce bazı geliştirmeler yapılarak Ergin türbini patenti ile Türkiye'de uygulamaya konulmuştur. Özellikle köylerin ayrı ayrı aydınlatılmasında rahatlıkla kullanılacak bu türbin tipinin yaygınlaştırılması gerekir.

A. SU TÜRBİNLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Bu çalışmada su türbinlerinin sınıflandırılması özgül devir sayısına ve düşüye göre yapılmıştır. Bilgisayar programında tanınmış su türbini imalatçılarından VOITH Firmasının yayınladığı diyagramdaki veriler esas alınmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Özgül devir sayısı ve düşüye bağlı olarak türbin tipinin belirlenmesi

Özgül devir sayısı, $H = 1$ m düşü ve $V = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ lik hacimsel debi ve seçilen bir işletme devrinde (n) çalışan bir çarkın devir sayısıdır.

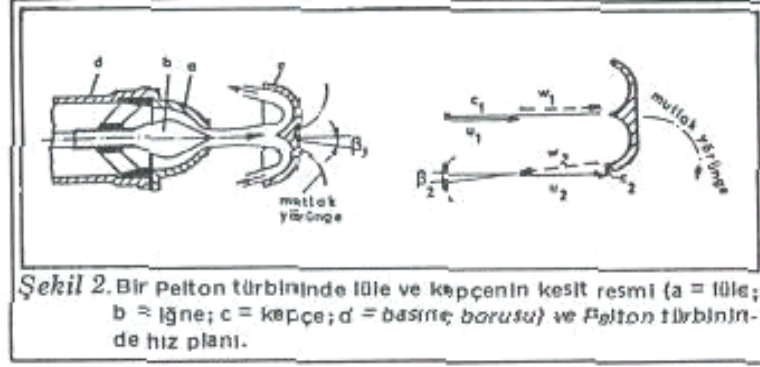
$$n_q = n \cdot (\dot{V})^{0,5} / (H)^{0,75} \quad (1)$$

- $H > 100$ m ve $n = 1... 15$ dak' arasında İse Pelton,
- $30 < H < 800$ m ve $n_q = 22 ... 120\text{dak}^{-1}$ ise Francis,
- $H < 30$ m ve $n_q > 120 \text{dak}^{-1}$

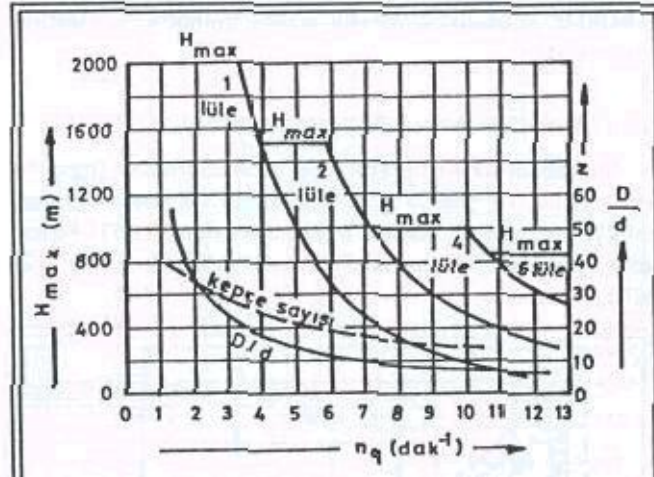
arasında ise türbin tipini Kaplan olarak belirlenmenin uygun olacağı önerilmektedir [2].

a) PELTON TÜRİNLERİ

Şekil 2 de Pelton türbinindeki lüle ve kepçenin şematik Çizimi ile hız planları görülmektedir.



Su kepçelerin ortasma çarpar ve her iki kenara sapar. İyi bir kuvvet aktarımı yapabilmek için, jeti gören daire çapının (D) jet çapına (d) oranının belli bir değerde tutulması gerekir (Şekil 3).



Şekil 3. Pelton türbini boyutlandırılırken kullanılan d.

$$C_1 = \sqrt{2gH} \quad (2)$$

eşitliğinden hesaplanır. Türbin verimi yaklaşık bire yakın kabul edildiğinde, çevresel hız $u = C_1/2$ olacaktır. Bu türbinde bağıl hızlar arasında $W_1 = W_2 = C_1/2$ eşitliği mevcuttur. Pratikte β_2 açısı 4° ile 10° arasında seçilmektedir.

Çevresel hızın (u) bilinmesi ve İşletme devrinin (n) seçilmesiyle türbin çark çapı (D),

$$D = (60 \cdot u) / \pi \cdot n \quad (3)$$

eşitliğinden hesaplanır, n seçilirken özgül devir sayısının (n_q) değeri kontrol edilir ve bilinen düşü (H) için, n değerinin uygun olup olmadığına bakılır. Eğer devir sayısı büyükse, D küçüleceğinden çark üzerindeki kepçelerin boyutlarının da küçük seçilmesi zorunluluğu ortaya çıkacaktır. Kepçelerin çok küçülmesi halinde de imalat güçlükleri ortaya çıkar.

Jet Çapı

$$d = 0,54 \sqrt{\dot{V} / \sqrt{H}} \quad (4)$$

eşitliğinden hesaplanır [2]. Bu denklemden hacimsel debi $\dot{V} = m^3/s$ ve düşü $H = m$ birimleriyle yerine konursa, jet çapı m olarak bulunur.

Büyük güçlü Pelton türbinlerinde su, birden fazla lüle üzerinden türbine sevk edilir. Lüle sayısı artırılarak, jet çapı küçültülebilir. Buna bağlı olarak kepçeler de daha küçük yapılabilir. Lüle sayısı birden fazla olduğu durumlarda, özgül devir sayısı \sqrt{z} 'ye bölünmelidir.

Pelton türbinine bağlı jeneratör devir sayısı,

$$n = 60 \cdot f / p \text{ (dak}^{-1}\text{)} \quad (5)$$

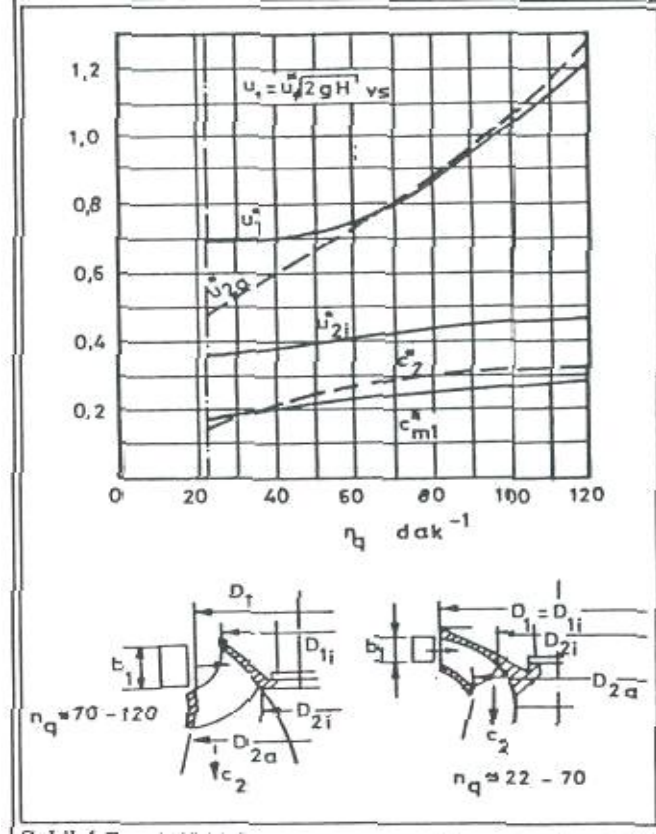
eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte f = frekans (Hz) ve p = kutup çifti sayısıdır.

Boyutlandırma yapılırken, farklı işletme devir sayıları için özgül devir sayılan ve gerektiğinde lüle sayısı hesaplanmalı ve kontrol yapılmalıdır, özgül devir sayısının düşü ile sınırlı olduğu unutulmamalıdır. İşletme devir sayısı tespit edildikten sonra D/d oranı hesaplanır ve D/d

eğrisinden bulunacak özgül devir sayısı ile bir önceki özgül devir sayısı karşılaştırılır (Şekil 3).

b) FRANCIS TÜRBİNİ

Şekil 4 de Francis türbinlerinin ilk ana ölçülerinin elde edilmesinde kullanılan diyagram ve iki ayrı tip Francis çarkına ait çizimler gösterilmiştir.



Şekil 4. Francis türbinlerinin ilk ana ölçülerinin elde edilmesi için değerler.

Bilinen düşü (H); hacimsel debi (V) ve seçilen işletme devri ile (1) eşitliğinden hesaplanacak Özgül devir sayısı yardımıyla boyutlandırmaya başlanır.

Şekil 4 ten bilinen n_q değeri ile u_1^* , u_{2a}^* , U_{2i}^* , c_2^* ve c_{m1}^* katsayıları bulunur. Bu katsayılar $\sqrt{2gH}$ değeri ile çarpılarak asıl değerler

($u_1, u_{2a}, U_{2i}, c_2, c_{m1}$) elde edilir. (3) nolu denklem yardımıyla ilgili çevresel hızlara ait çaplar (D_1, D_{2a}, D_{2i}) hesaplanır.

Giriş üçgenini elde etmek için Euler Türbin Denkleminden faydalanılır. Francis türbinlerinde c_2 mutlak hızı u_2 çevresel hızına dik olduğundan $c_{2u} = 0$ olacağından,

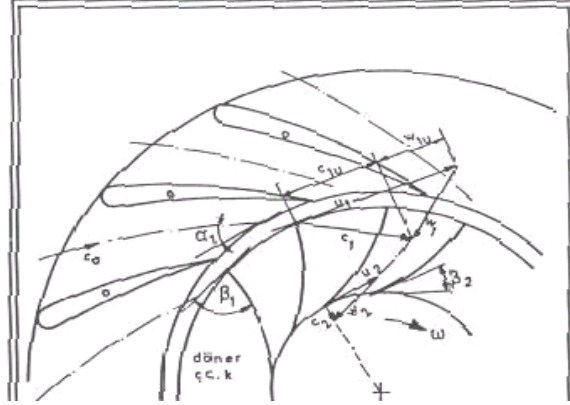
$$C_{1u} = \eta_T \cdot g \cdot H / u_1 \quad (6)$$

yazılabilir.

U_1, c_{1u} ve c_{m1} değerleri bilindiğinden Şekil 5'de görülen giriş hız üçgeninden faydalanılarak ve aşağıdaki eşitlikler yardımıyla a_1, w_1, β_1 ve c_1 değerleri hesaplanır.

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = c_{m1} / c_{1u} \quad (7)$$

$$w_1 = \sqrt{c_{m1}^2 + (u_1 - c_{1u})^2} \quad (8)$$



Şekil 5. Francis türbininde yönlü ve döner kanatlar. Giriş ve çıkıştaki hız üçgenleri ($c_{2u}=0$).

$$\sin \beta_1 = c_{m1} / w_1 \quad (9)$$

$$C_1 = c_{1u} / \cos \alpha_1 \quad (10)$$

Francis türbinlerinde çark kalınlığı (b_1) aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur.

$$b_1 = \dot{V} / (D_1 \cdot \pi \cdot c_{m1} \cdot r) \quad (11)$$

T kanatların cidar kalınlıklarından ötürü giriş kesitinde oluşan daralma oranı olup genelde 0,9 alınmaktadır.

Çark çıkışındaki çevresel hızı bulmak için U_{2i} ve u_{2a} , değerlerinin aritmetik ortalaması alınır.

$$u_{20} = (u_{2i} + u_{2a})/2 \quad (12)$$

c_2 ve u_{20} değerleri bilindiğinden, çıkış açısı rahatlıkla çizilebilir (Şekil 5).

w_2 bağıl hızı ve β_2 açısı,

$$w_2 = \sqrt{c_2^2 + u_{20}^2} \quad (13)$$

$$\text{tg } \beta_2 = c_2 / u_{20} \quad (14)$$

eşitlikleriyle hesaplanır.

Şekil 4 de u_{11} eğrisi çizilmemiştir. Bu yüzden D_{11} çapı

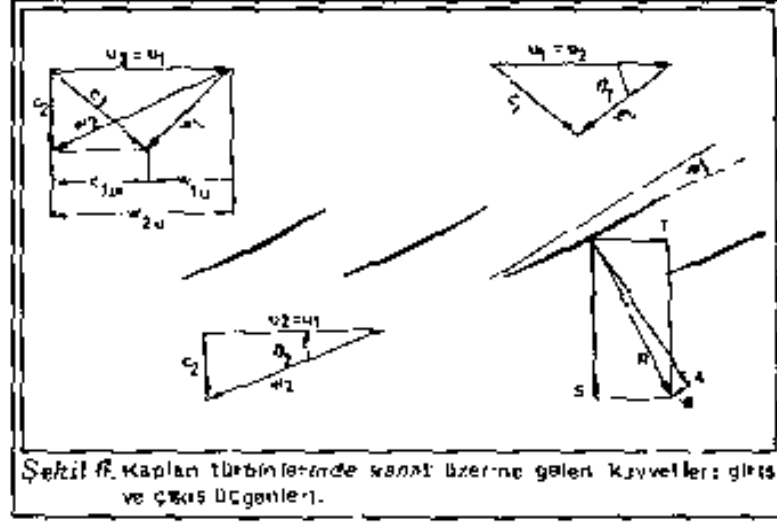
$$D_{11} = (D_1 + D_{21})/2 \quad (15)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

c) KAPLAN TÜRBİNİ

Uçak kanatlarına benzediği ve gövde üzerindeki kanatları dönmediği için Kaplan türbinlerinin ilk modellerine Pervane türbini adı verilmiştir. Pervane türbinlerinin Francis türbinlerine göre bir avantajı, işletme devirlerinin daha yüksek seçilebilmesidir. Yüksek devir sayesinde jeneratör boyutları daha küçük yapılabilmektedir. Pervane türbini Prof. Kaplan tarafından geliştirilerek, göbek üzerinde bulunan kanatlar da hareket ettirilebilmektedir. Bu sayede düşünün dalgalanması halinde kanatlar ayarlanarak tedbirler alınabilmektedir. Çark Üzerinde sayılan 4 ile 8 arasında

değişen ve gövdeye yataklanan hareketli kanatları mevcuttur. Kanatların amacı, teğetsel etki eden bir dönme kuvveti oluşturmaktır (Şekil 6).



Kaplan türbinlerinde $u_1 = u_2 = u$ alınmaktadır. U_1 çevresel hızı Euler Türbin Denklemi ($\alpha_2 = 90^\circ$ olduğundan) yardımıyla,

$$u_1 = \eta_T \cdot H \cdot g / c_{1u} \quad (16)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Ortalama çark çapı D_m ve yöneltici kanat yüksekliği b 'nin belirlenmesinde kullanılan c_m meridyen hızının çark giriş ve çıkışındaki değeri aynıdır. Süreklilik denkleminde,

$$\dot{V} = D_m \cdot \pi \cdot b \cdot c_m \quad (17)$$

yazılır.

Şekil 7 de Kaplan türbininin boyutlandırılmasında kullanılan diyagram ve döner çark için kullanılan işaretler görülmektedir.

$$b_o = V / (D_o \cdot \pi \cdot c_{my} \cdot \tau_o) \quad (18)$$

denklemleriyle hesaplanır, $T_0 = 0,9$ kabul edilmiştir.

C_{2m} meridyen hızı, döner çarkın çıkışındaki c_2 hızına eşit alınır.

$$c_{2m} = c_2 = \dot{V} / A \quad (19)$$

Suyun türbinden geçtiği alanı aşağıdaki eşitlikle hesaplayabiliriz.

$$A = (D_1^2 - D_N^2) \pi / 4 \quad (20)$$

Türbin verimi,

$$\eta_T = P / (H \cdot \dot{V} \cdot \rho \cdot g) \quad (21)$$

ve C_2 mutlak hızı dik olarak çarkı terk ettiğinden $C_{2u} = 0$ olacağından, Euler Türbin Denkleminde,

$$c_{1u} = \eta_T \cdot \epsilon \cdot H / u_m \quad (22)$$

$$u_m = (u_1 + u_N) / 2 \quad (23)$$

Çıkış üçgeni hesapları aşağıdaki biçimde yapılır. Kanat orta noktasının çevresel hızı u_m ve $c_2 = c_{2m}$ olarak bilindiğinden,

$$w_2 = \sqrt{c_2^2 + u_m^2} \quad (24)$$

$$\text{tg } \beta_2 = c_2 / u_m \quad (25)$$

eşitliklerinden w_2 ve β_2 değerleri hesaplanır.

Giriş üçgeni ise c_2 noktasından u'ya paralel bir doğru çizilir ve c_2 uçundan itibaren c_{1u} kadar ilerideki uzaklık işaretlenerek elde edilir. Dolayısıyla w_1 , c_1 , ve β_1 hesaplanabilir. (Şekil 6).

Teğetsel kuvvet (T) ve aksenal itki kuvvetinin hesabı aşağıdaki biçimde yapılır.

$$T = D \cdot \pi \cdot B \cdot c_m \cdot \rho \cdot (w_{2u} - w_{1u}) \quad (26)$$

Üstteki eşitlikte $D = D_m$ olup değeri,

$$D_m = (D_1 + D_N)/2 \quad (27)$$

şeklinde hesaplanır. Kanat genişliği B ise,

$$B = (D_1/2 - D_N/2) \quad (28)$$

eşitliğinden bulunur.

$$\text{Dönme momenti : } M_t = T \cdot r \quad (28)$$

$$\text{Açısal hız : } \omega = \pi \cdot n/30 \quad (29)$$

$$\text{Güç : } P = M_t \cdot \omega \quad (30)$$

Eksenal itki kuvveti,

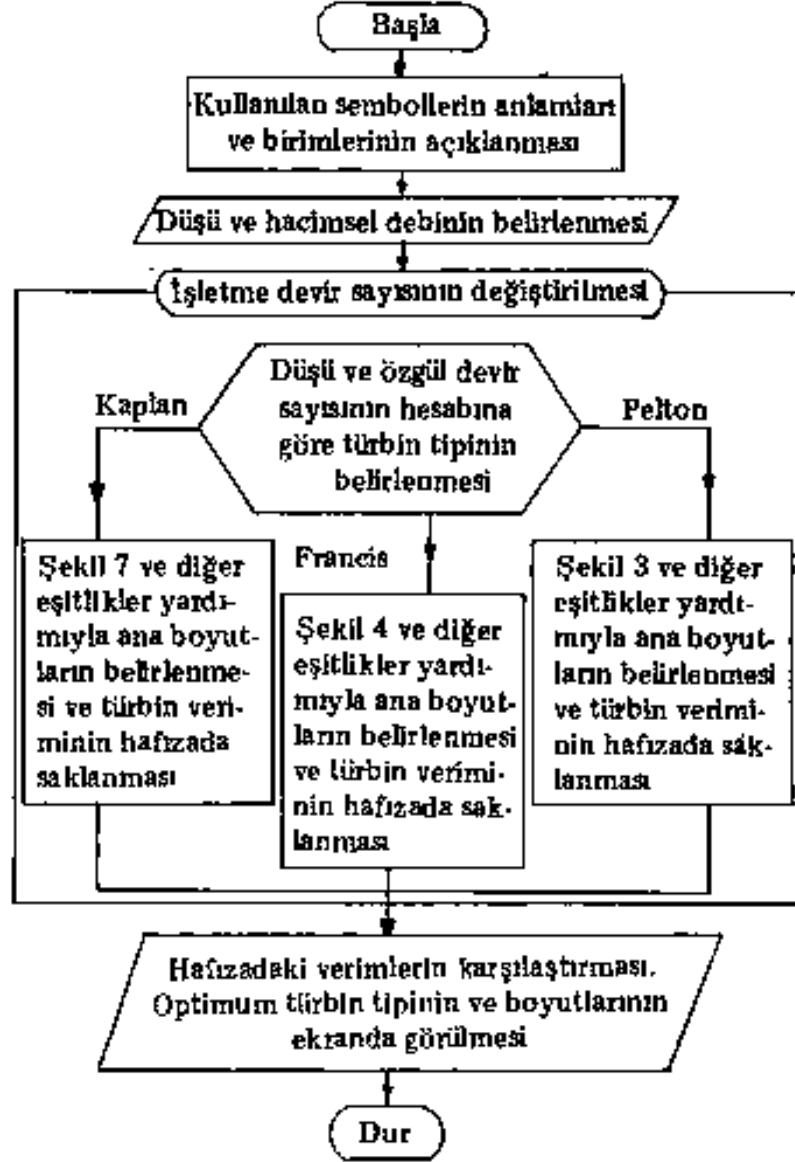
$$S = (\rho/2) \cdot (w_2^2 - w_1^2) \cdot D_m \cdot \pi \cdot B \quad (31)$$

B) PELTON, FRANCIS VE KAPLAN TÜRBİNLERİNİN BOYUTLANDIRILMASINDA BİLGİSAYARIN ÖNEMİ

Pelton, Francis ve Kaplan türbinleri ile ilgili ana boyutların belirlenmesinde kullanılan diyagram ve denklemler yukarıda verilmiştir. Şekil 3, 4 ve 7 de Pelton, Francis ve Kaplan türbinlerinin boyutlandırılmasında kullanılan diyagramlar, ampirik denklemlere

dönüştürülerek bilgisayar programına yerleştirilmişlerdir. Türbinin yerleştirileceği yerdeki düşü ve hacimsel debi sabit büyüklüklerdir. Oysa türbin işletme devri seçilen büyüklüktür. Seçilen bu değerlere bağlı olarak özgül devir sayısı sürekli değişeceğinden, türbin tiplerine ait tüm boyutlar da farklı olacaktır. Diğer bir deyimle çok sayıda boyutlandırma söz konusu olabilmektedir. Farklı boyutlandırmalar içinden optimum olanını belirlemede bilgisayarın Önemi açıktır.

Oldukça kapsamlı hazırlanan bir FORTRAN programı yardımıyla optimum türbin tipi ve boyutları belirlenebilmektedir. Fırat Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Akım Makinaları Laboratuvarı için bu bilgisayar programı yardımıyla örnek küçük türbinler boyutlandırılmış ve atelye de imatları gerçekleştirilmiştir. Bu örnek türbinler olanaksızlıklar nedeniyle oldukça basit biçimde imal edilmişlerdir. Bu setler ders aracı ve deney seti olarak öğrencilerin hizmetine sunulmuştur [3,4,5]. Hazırlanan bilgisayar programı konuya yabancı kullanıcılar tarafından rahatlıkla anlaşılabilir biçimde hazırlanmıştır.



KAYNAKÇA

1. DSİ 1986 Ajandası.
2. Varol, A., Hidrolik Mizanaları (Su Türbinleri), Elazığ, 1986
3. Varol, A., Eren, H., “Kaplan Türbin İmalatı”, Bitirme ödevi, F.O. Makina Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 1985
4. Varol, A., Boydak, M., “Pelton Türbin İmalatı”. Bitirme Ödevi, F.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 1985
5. Varol. A., Aydın, A., “Francis Türbin İmalatı”. Bitirme ödevi, F.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 1985