

SULAMA GÖLETLERİNİN ORTA ÖLÇEKLİ HİDROELEKTRİK SANTRALE
DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE ELEKTRİK ÜRETİM
POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Sercan ÇETİNKAYA

Dumlupınar Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ERBAŞ

Mayıs - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Sercan ÇETİNKAYA tarafından hazırlanan "SULAMA GÖLETLERİNİN ORTA ÖLÇEKLİ HİDROELEKTRİK SANTRALE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE ELEKTRİK ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI" adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

14/05/2018

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Ramazan KÖSE
Bölüm Başkanı, Makina Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ERBAŞ
Danışman, Makina Mühendisliği Bölümü

Sınav komitesi üyeleri

Prof. Dr. Ramazan KÖSE
Makina Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. Eyyüp GÜLBANDILAR
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Osmangazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ERBAŞ
Makina Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %14 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ERBAŞ

İmza

Sercan ÇETİNKAYA

İmza

SULAMA GÖLETLERİNİN ORTA ÖLÇEKLİ HİDROELEKTRİK SANTRALE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE ELEKTRİK ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Sercan ÇETİNKAYA

Makina Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ERBAŞ

ÖZET

Yenilenebilir enerji, ülkemizin enerji ihtiyacının yerli potansiyeller tarafından karşılanmasının yanında enerji üretimi ve tüketimi esnasında çevreye en az zarar veren enerji çeşidi olarak da önemli bir yer tutmaktadır. Ülkemiz coğrafi konumu ve jeolojik yapısı nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Bu kaynaklardan azami ölçüde yararlanmak hem enerji arz güvenliğine katkı sağlayacak, hem temiz enerji oranını arttıracak hem de yeni istihdam alanlarının oluşumuna zemin hazırlayacaktır. 2017 yılı başı itibarıyla ülkemizin hidrolik enerji kurulu gücü, toplam yenilenebilir enerji kurulu gücünün % 34'ü mertebesindedir.

Sulama göletlerinin orta ölçekli hidroelektrik santrale dönüştürülmesi ve elektrik üretim potansiyelinin belirlenmesi amacıyla bu çalışmada Sakarya ili, Pamukova İlçesindeki yapımı devam eden Turgutlu Göleti ele alınmıştır. Öncelikli olarak gölet rezervuarı potansiyelinden yararlanılarak, gölet gövdesinin ve mansap sahasının bu yeni elemanların ilavesine uygunluğu incelenmiştir. Daha sonra göletin mevcut elemanlarına HES elemanları da dahil edilerek çalışmalar tamamlanmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde gölet rezervuarının ve mansap sahasının bu yeni elemanların teşkili için uygun olduğu belirlenmiş ve yeni elemanların tasarımına geçilmiştir. Bu bağlamda ilave edilmesi gerektiği düşünülen denge bacası, türbin, jeneratör, transformator, şalt sahası, santral binası ve kuyruksuyu yapısı elemanlarıyla ilgili olarak çeşitli tasarım hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda 2 MW kurulu güce sahip orta ölçekli bir HES tasarlanmış ve maliyet analizi de yapılarak projenin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Elektrik Üretim Potansiyeli, Hidroelektrik Santral (HES), Sulama Göleti.

**BEING CONVERTED IRRIGATION PONDS TO MEDIUM SCALED
HYDRO-ELECTRIC POWER PLANTS AND THE INVESTIGATION OF POTENTIAL
ELECTRICITY GENERATION OF THEM**

Sercan ÇETİNKAYA

Mechanical Engineering, Master Thesis, 2018

Thesis Supervisor: Assistant Prof. Oğuzhan ERBAŞ

ABSTRACT

Renewable energy has a significant place in terms of providing both energy requirements of a country during energy production and consumption by using regional sources and clean energy compared to the other energy sources for nature. Turkey is a rich country regarding renewable energy sources because of its geographical position and geological structure. Maximally using of these sources will contribute a continuous supply of energy requirement, increase the ratio of clean energy usage, and create new employment areas. The installed capacity of hydro-electric power plants in Turkey constituted 34% of total renewable energy sources at the beginning of 2017.

Turgutlu pond, under construction in Sakarya, Turkey, was studied within the scope of the investigation of potential energy production of irrigation ponds with the conversion to medium scaled hydro-electric power plants. Once the suitability of the equipment of hydro-electric plant investigated so as to determine the adaptation to the current pond embankment and field of river mouth, the investigation was completed by adding the equipment of hydro-electric plant on the current systems. Then, the design of the new equipment of the hydro-electric plant was made. In this regard, various calculations of the equipment which was planned to introduce such as surge chamber, turbine, generator, switchyard, powerhouse, and tail-water channel were made. According to the calculations, a medium scaled hydro-electric plant which has the power of 2MW has been designed. Consequently, the feasibility of the project has been decided in accordance with a cost analysis which was determined by using the design calculation.

Keywords: Potential of electric production, Hydro-electric power plant (HPP), Irrigation pond.

TEŐEKKÜR

Ülkemiz adına önem arz eden bu çalışmaya beni yönlendiren değerli hocalarım Prof. Dr. Ramazan KÖSE, Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ERBAŞ ve Öğr. Gör. Nuri CEYLAN'a, çalışma süresince desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan eşim Merve Özge ÇETİNKAYA ve değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. HİDROELEKTRİK ENERJİ VE HİDROELEKTRİK SANTRALLER	7
2.1. Hidroelektrik Santrallerin Yapısı	7
2.2. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması	8
2.2.1. Düşü miktarlarına göre sınıflandırma	8
2.2.2. Ürettikleri enerjinin sürekliliğine göre sınıflandırma	8
2.2.3. Kurulu güçlerine göre sınıflandırma	8
2.2.4. İnşaat yapım türüne göre sınıflandırma	9
2.2.5. Depolama yapılarına göre sınıflandırma	9
2.2.6. Santral binasının konumuna göre sınıflandırma	9
3. HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN YAPI ELEMANLARI	10
3.1. Su Alma Yapısı	11
3.2. Derivasyon- Dipsavak	12
3.3. Dolusavak	15
3.4. Denge Bacası	16
3.5. Cebri (Basınçlı) Boru	17
3.6. Vana Odası ve Vanalar	18
3.7. Türbin	20
3.7.1. Pelton türbini	22
3.7.2. Banki-Michell Ossberger türbini	23
3.7.3. Francis türbini	24
3.7.4. Kaplan türbini	26
3.8. Jeneratör	29
3.9. Transformator	30

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.10. Şalt Sahası	31
3.11. Santral Binası	32
3.12. Kuyruksuyu Yapısı	34
4. TASARIMA ESAS SAHANIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ VE TANITILMASI	35
4.1. Çalışma Sahasının Tanıtılması	35
4.1.1. Coğrafi durum	38
4.1.2. Genel jeolojik durum	40
4.1.3. Sosyal durum	43
4.1.4. Ekonomik durum	44
4.1.5. İklim	44
4.2. Tasarıma Esas Sahanın Karakteristik Bilgilerinin Tanıtılması	45
4.2.1. Saha karakteristikleri	45
5. MEVCUT SAHANIN ORTA ÖLÇEKLİ HİDROELEKTRİK SANTRALE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE ELEKTRİK ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI	48
5.1. Türbin Tasarım Hesapları	51
5.1.1. Santralde elde edilecek güç hesabı	53
5.1.2. Türbin özgül hızı ve devir sayısı	53
5.1.3. Türbin mil çapı	54
5.1.4. Türbin göbek çapı	54
5.1.5. Türbin çarkının boyutları	54
5.1.6. Türbin çarkının kanatlarındaki hız bileşenleri	56
5.1.7. Türbin çarkının kanat sayısı	59
5.1.8. Türbin salyangoz boyutları	59
5.1.9. Türbin emme borusu boyutları	61
5.1.10. Kavitasyon oluşturmayacak türbin eksen kotunun bulunması	63
5.1.11. İki ünite koşullarında türbin tasarımı	65
5.1.12. Üç ünite koşullarında türbin tasarımı	86
5.2. Jeneratör Seçimi	107
5.3. Denge Bacası Tasarımı	109
5.4. Transformatör ve Şalt Sahası Seçimleri	111
5.4.1. Alçak gerilim şebekeleri	111
5.4.2. Orta gerilim şebekeleri	111
5.4.3. Yüksek gerilim şebekeleri	112
5.4.4. Çok yüksek gerilim şebekeleri	112

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.5. Santral Binası Tasarımı	113
6. SONUÇ	117
KAYNAKLAR DİZİNİ	123
EKLER	
EK-1. Kaplan türbin tipi için düşü, debi, güç ve devir sayısı ilişkileri.	
EK-2. Bir enjektörlü Pelton türbin tipi için düşü, debi, güç ve devir sayısı ilişkileri.	
EK-3. Düşey eksenli Francis türbin tipi için düşü, debi, güç ve devir sayısı ilişkileri.	
EK-4. n_s özgül hızının değerine göre türbin rotor tipinin ve şeklinin değişimi.	
EK-5. Özgül hıza ve net düşü yüksekliğine göre türbin tipini seçme karakteristik eğrileri.	
EK-6. Çeşitli türbin tiplerinin düşü ve debiye göre çalışma bölgeleri.	
EK-7. Çeşitli türbin tiplerinin düşü ve özgül hıza göre çalışma bölgeleri.	
EK-8. Su türbinlerinde sabit düşü ve sabit dönme hızında verim değişimleri.	
EK-9. Düşü yüksekliği ile su debisi değerlerine göre hidrolik türbinlerin kullanım sahaları.	
EK-10. Türkiye enterkonekte sistem şeması.	
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Dünyadaki bazı ülkelerin mevcut duruma göre kurulu güçleri	1
1.2. 2017 yılı başı itibarıyla kurulu gücün kaynak bazında dağılımı	2
1.3. Hidrolik enerjisi kurulu gücünün yıllar içerisindeki gelişimi	2
1.4. 2037 yılı için Türkiye'nin elektrik enerjisi talep projeksiyonu sonuçları	3
2.1. Hidroelektrik Santrali akım şeması	8
3.1. Atatürk Barajı üzerindeki HES elemanlarının gösterimi	10
3.2. Bir su alma kulesi ön görünüşü	11
3.3. Hoover Barajı su alma kuleleri (USA)	11
3.4. Derivasyon-dipsavak kondüvisi enine kesiti	12
3.5. Kondüvi ve cebri boru görünüşü	12
3.6. Derivasyon-dipsavak kondüvisi boy kesiti	14
3.7. Kontrollü dolusavak	15
3.8. Boşaltım kanalı ve enerji kırıcı havuz	15
3.9. Dairesel kesitli denge bacası	16
3.10. Bazı denge bacası tipleri	17
3.11. Atatürk Barajı türbinlerini besleyen cebri borular	18
3.12. Cebri boru ile türbin salyangozu arasındaki vana bağlantısı	19
3.13. Kelebek vana (a) ve karesel vana (b)	19
3.14. Pelton (a), Francis (b) ve Kaplan (c) türbinleri	20
3.15. Reaksiyon ve impuls türbinlerinin çalışma tarzına göre sınıflandırılması	21
3.16. Dört (a) ve iki (b) püskürtücülü bir Pelton türbini tesisi	22
3.17. Tek püskürtücülü Pelton türbini tesisi	22
3.18. Pelton türbin çarkı	23
3.19. Banki-Michell Ossberger türbini elemanları (a) ve kesiti (b)	23
3.20. Banki-Michell Ossberger türbini genel görünüşü	24
3.21. Francis türbin tesisi elemanları	24
3.22. Düşey eksenli Francis türbin tesisi kesiti	25
3.23. Büyük kapasiteli Francis türbin tesisi kesiti	25
3.24. Francis türbin çarkı	26
3.25. Kaplan türbin tesisi elemanları	27

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.26. Düşey eksenli ve çelik salyangoz gövdeli Kaplan türbin tesisi kesiti	27
3.27. Düşey eksenli ve beton salyangoz gövdeli Kaplan türbin tesisi kesiti	28
3.28. Kaplan türbin çarkı	28
3.29. Türbin ve jeneratör ünitesi	29
3.30. Jeneratör (alternatör) iç yapısı ve elemanları	30
3.31. Çıkıntılı kutuplu jeneratör rotoru	30
3.32. Güç transformatörü iç yapısı	31
3.33. Güç transformatörü ve yardımcı üniteleri	31
3.34. Şalt sahası görünüşü	32
3.35. Santral binası elemanları ve kesiti	33
3.36. Santral binası içinden bir görünüş	33
3.37. Nehir tipi bir tesisin kuyuksuyu yapısı	34
3.38. Depolamalı bir tesisin kuyuksuyu yapısı	34
4.1. Tasarıma esas sahanın gövde yerleşim planı	35
4.2. Tasarıma esas sahanın gövde maksimum enkesiti	36
4.3. Tasarıma esas sahanın membadan gölete bakışı (vadi görünümü)	37
4.4. Tasarıma esas saha içerisindeki göl alanı	38
4.5. Pamukova İlçesi ile tasarıma esas proje sahasının topoğrafik haritası	38
4.6. Tasarıma esas proje sahasının yer bulduru haritası	39
4.7. Tasarıma esas proje sahası ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (ölçeksiz)	41
4.8. Tasarıma esas sahanın ve civarının deprem bölgeleri haritasındaki yeri	42
4.9. Tasarıma esas sahanın mevcut arazi üzerinde gösterimi	45
5.1. Tasarıma esas proje sahasındaki ilave ve mevcut elemanların halihazır durumu ...	48
5.2. Proje sahasının Şekil 5.1.'deki 1 no'lu gözden görünüşü	49
5.3. Proje sahasının Şekil 5.1.'deki 2 no'lu gözden görünüşü	49
5.4. Proje sahasının Şekil 5.1.'deki 3 no'lu gözden görünüşü	50
5.5. Proje sahasının Şekil 5.1.'deki 4 no'lu gözden görünüşü	50
5.6. Proje sahasının Şekil 5.1.'deki 5 no'lu gözden görünüşü	51
5.7. Francis türbin çarkı boyutları	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.8. Hızlılık katsayısına bağlı olarak Francis türbin çarkı boyutlarının değişimi	55
5.9. Kaplan ve Uskur türbin çarkı boyutları	56
5.10. Francis türbin çarkı giriş ve çıkış hız üçgenleri	57
5.11. Kaplan ve Uskur türbin çarkı giriş ve çıkış hız üçgenleri	58
5.12. Francis, Kaplan ve Uskur türbin çarkı için salyangoz boyutları	59
5.13. Francis, Kaplan ve Uskur türbin çarkı için emme borusu boyutları	61
5.14. Francis, Kaplan ve Uskur türbin çarkı için emme yüksekliği	63
5.15. Düşey eksenli, iki ünite durumunda Francis türbin konstrüksiyon çizimleri	71
5.16. Düşey eksenli, iki ünite durumunda Kaplan türbin konstrüksiyon çizimleri	78
5.17. Düşey eksenli, iki ünite durumunda Uskur türbin konstrüksiyon çizimleri	85
5.18. Düşey eksenli, üç ünite durumunda Francis türbin konstrüksiyon çizimleri	92
5.19. Düşey eksenli, üç ünite durumunda Kaplan türbin konstrüksiyon çizimleri	99
5.20. Düşey eksenli, üç ünite durumunda Uskur türbin konstrüksiyon çizimleri	106
5.21. Türbin rotorunun jeneratöre doğrudan bağlantısı	108
5.22. Türbin rotorunun jeneratöre kayış kasnak vasıtasıyla bağlantısı	108
5.23. Türbin rotorunun jeneratöre dişli kutusu vasıtasıyla bağlantısı	108
5.24. Tasarıma esas projenin kondüvi iç ölçüleri	110
5.25. HES binası türbin salyangozu eksen kotu dizayn planı	114
5.26. HES binası vana odası kotu dizayn planı	114
5.27. HES binası türbin kotu dizayn planı	115
5.28. HES binası jeneratör kotu ve idari kısım dizayn planı	115
5.29. HES binası üniteleri dizayn kesiti	116

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Tasarıma esas proje sahasında açılan sondajların bilgileri	43
5.1. Kaplan ve Uskur türbinleri için n_s hızına bağlı kanat sayıları	59
5.2. Atmosfer basıncının kotla değişimi	64
5.3. Buharlaşma basıncının su sıcaklığı ile değişimi	64
5.4. 1970-2016 yılları arası için aylara göre Karadeniz deniz suyu ortalama sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$)	64
5.5. 1970-2016 yılları arası için aylara göre Marmara Denizi deniz suyu ortalama sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$)	64
5.6. Türbinden elde edilen güç, türbinin özgül hızı ve türbinin dönme hızı (iki ünite/Francis)	65
5.7. Türbinin giriş ve çıkış hız bileşenleri (iki ünite/Francis)	67
5.8. Türbinden elde edilen güç, türbinin özgül hızı ve türbinin dönme hızı (iki ünite/Kaplan)	72
5.9. Türbinin giriş ve çıkış hız bileşenleri (iki ünite/Kaplan)	74
5.10. Türbinden elde edilen güç, türbinin özgül hızı ve türbinin dönme hızı (iki ünite/Uskur)	79
5.11. Türbinin giriş ve çıkış hız bileşenleri (iki ünite/Uskur)	81
5.12. Türbinden elde edilen güç, türbinin özgül hızı ve türbinin dönme hızı (üç ünite/Francis)	86
5.13. Türbinin giriş ve çıkış hız bileşenleri (üç ünite/Francis)	88
5.14. Türbinden elde edilen güç, türbinin özgül hızı ve türbinin dönme hızı (üç ünite/Kaplan)	93
5.15. Türbinin giriş ve çıkış hız bileşenleri (üç ünite/Kaplan)	95
5.16. Türbinden elde edilen güç, türbinin özgül hızı ve türbinin dönme hızı (üç ünite/Uskur)	100
5.17. Türbinin giriş ve çıkış hız bileşenleri (üç ünite/Uskur)	102
5.18. Değişik kutup sayıları ve frekanslar için jeneratör hızları	109
6.1. Türbin özgül ve dönme hızı, çark büyüklükleri, kanat sayısı	118
6.2. Türbin giriş ve çıkış hız büyüklükleri	118
6.3. Türbin salyangozu ve emme borusu büyüklükleri	119
6.4. Türbin eksen kotu, emme yüksekliği ve diğer hesap büyüklükleri	120
6.5. Tasarlanan elemanlar ve tasarım sonuçları	121

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
P	Türbine etki eden güç, W
ρ	Suyun özgül kütlesi, kg/m^3
g	Yerçekimi ivmesi, m/s^2
Q	Debi, m^3/s
H_N	Net düşü yüksekliği, m
P_t	Türbinden elde edilen güç, W
H_0	Brüt düşü yüksekliği, m
h_k	Yersel kayıplar toplamı, m
η_v	Kaçak verimi
η_h	Hidrolik verim
η_m	Mekanik verim
η_G	Jeneratör verimi
η_{Tr}	Transformatör verimi
η_t	Türbin genel verimi
η_s	Santral verimi
n_q	Debiye bağlı özgül hız, dev/dk
n_s	Güce bağlı özgül hız, dev/dk
n	Türbin devir sayısı, dev/dk
n_j	Jeneratör dönme hızı, dev/dk
d_m	Türbin mil çapı, cm
d_g	Türbin göbek çapı, cm
σ	Hızlılık katsayısı
c	Mutlak hız, m/s
u	Çevresel hız, m/s
w	Bağıl hız, m/s
β	Çevresel hız ile bağıl hız arasındaki açı, $^\circ$
z	Türbin çarkı kanat sayısı
σ_T	Kavitasyon katsayısı
H_{atm}	Atmosfer basınç yüksekliği, m
H_{vap}	Suyun buharlaşma basınç yüksekliği, m

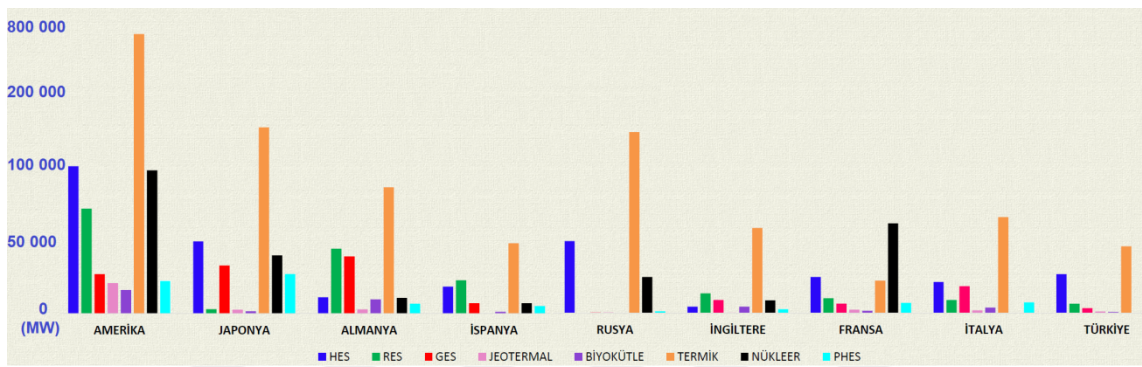
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
H_s	Emme yüksekliği, m
t	Emme eksenini ile çark eksenini arası mesafe, m
f	Frekans, Hz
p	Kutup sayısı
F	Denge bacası kesit alanı, m^2
e	Emniyet katsayısı
n_m	Manning pürüzlülük katsayısı
R	Hidrolik yarıçap, m
A	Enerji tünelinin iç kesit alanı, m^2
U	Suyun temas ettiği ıslak çevre, m
E	Santralin yıllık elektrik üretim miktarı, MWh/yıl
S	Elektrik satışından yılda elde edilen brüt gelir, TL/yıl
S_N	Elektrik satışından yılda elde edilen net gelir, TL/yıl

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
MEB	Milli Eğitim Bakanlığı
DSİ	Devlet Su İşleri
HES	Hidroelektrik Santral
PHES	Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
MTA	Maden Tetkik ve Arama
İMO	İnşaat Mühendisleri Odası
NASA	Aeronautics and Space Administration
ESHA	European Small Hydropower Association
GSMH	Gayri Safi Milli Hasıla
KKB	Karayel Kuzey Batı Rüzgarı
BG	Beygir Gücü

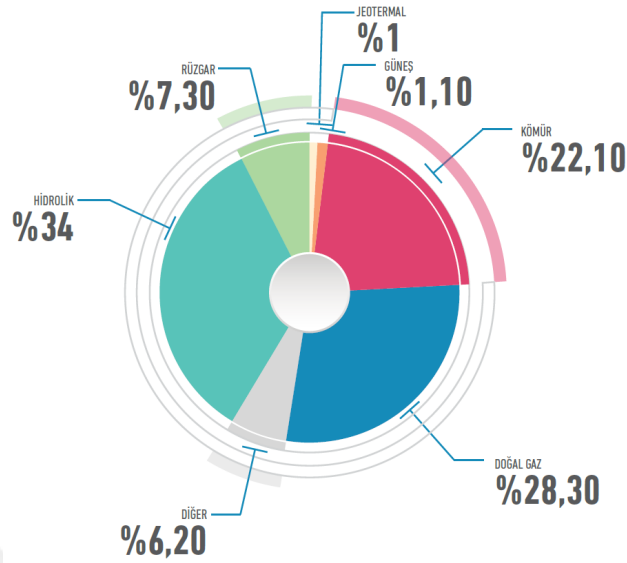
1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji, ülkenin enerji ihtiyacının hem yerli potansiyeller tarafından karşılanması hem de enerji üretimi ve tüketimi esnasında çevreye en az zarar veren enerji çeşidi olarak önemli bir yer tutmaktadır. 2018 yılının başı itibariyle Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre Türkiye'nin yenilenebilir enerji kurulu gücü 39 GW'dır. Şekil 1.1.'de Dünyadaki bazı gelişmiş ülkelerin elektrik üretimine esas kurulu güçleri gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Dünyadaki bazı ülkelerin mevcut duruma göre kurulu güçleri (ETKB, 2018a).

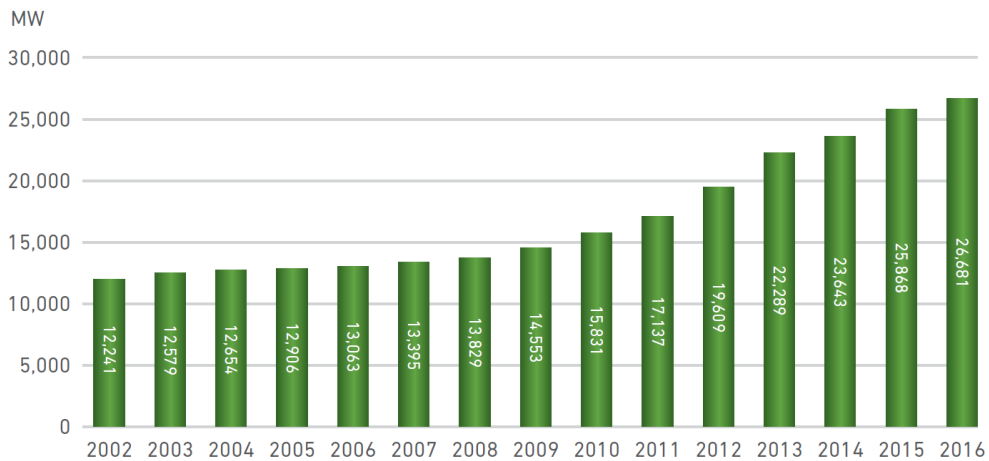
Yine Bakanlık verilerine göre Ülkemizin elektrik enerjisi talebi artış oranı son 14 yılda, yıllık ortalama % 5,5 olarak gerçekleşmiştir. 2017 yılı başı itibariyle yaklaşık 5899 MW kurulu gücünde lisanslı elektrik üretim santrali devreye alınmış ve kurulu gücümüz 78497 MW'a ulaşmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına sağlanan teşvikler neticesinde 2008 yılından itibaren özellikle hidrolik, rüzgâr, güneş ve jeotermal olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç içindeki payı son yıllarda artış göstermiştir. 2017 yılı başı itibarıyla ülkemizin kurulu gücünün % 44'ünü yenilenebilir enerji, % 56'sını diğer kaynaklar oluşturmaktadır. Ayrıca 2017 yılı başı itibarıyla 1043 adedi güneş, 23 adedi rüzgâr, 20 adedi termik, 13 adedi biyokütle, 3 adedi HES olmak üzere toplam 917,63 MW kurulu gücünde 1102 adet lisanssız santral işletme halindedir. 2017 yılı başı itibarıyla kurulu gücün kaynak bazında dağılımı Şekil 1.2'de gösterilmiştir (ETKB, 2017).



Şekil 1.2. 2017 yılı başı itibarıyla kurulu gücün kaynak bazında dağılımı (ETKB, 2017).

Ülkemiz coğrafi konumu ve jeolojik yapısı nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Bu kaynaklardan azami ölçüde yararlanmak hem enerji arz güvenliğine katkı sağlayacak, hem temiz enerji oranını arttıracak hem de yeni istihdam alanlarının oluşumuna zemin hazırlayacaktır.

2017 yılı başı itibarıyla ülkemiz kurulu gücünün % 44'ünü 34575 MW ile yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Bu bağlamda en büyük yenilenebilir enerji kaynağımız olan hidrolik enerjiden azami ölçüde faydalanmamız gerekmektedir. 2017 yılı başı itibarı ile hidrolik enerji kurulu gücü 26681 MW'a ulaşmıştır. Hidrolik enerji kurulu gücünün yıllar içindeki artışı Şekil 1.3.'de görülmektedir (ETKB, 2017).



Şekil 1.3. Hidrolik enerjisi kurulu gücünün yıllar içerisindeki gelişimi (ETKB, 2017).

Şekil 1.4.'de ise ülkemizin 2037 yılı için elektrik üretimine esas elektrik enerjisi talep projeksiyonu sonuçları verilmiştir.



Şekil 1.4. 2037 yılı için Türkiye'nin elektrik enerjisi talep projeksiyonu sonuçları (ETKB, 2018b).

Şekil 1.1. ve Şekil 1.4. ele alındığında yapılan yatırımlar ve hedefler çerçevesinde elektrik üretimine esas kurulu güç baz alındığında, enerji çeşitliliğini sağlamak amacıyla ülkemizin nükleer enerjiye adım atması bir zorunluluktur.

Tez çalışması konusu kapsamında, yapılan literatür taraması sonucunda ulaşılan bazı çalışmaların özetleri aşağıda sunulmuştur;

Nasir, B. A., akarsu üzerine kurulacak mikro hidroelektrik santral ve türbin seçimi üzerine çeşitli debi, düşü yüksekliği varyasyonları deneyerek çalışma hazırlamıştır. Elde edilebilecek güç ve türbin dönme sayısına göre türbin tipi seçimine önermelerde bulunmuştur. Kendi çalışmasında 50 m'den büyük düşü yüksekliği ve 0,5 m³/s'den küçük debi altında çalışacak türbinin Pelton olduğuna kanaat getirmiştir (Nasir, 2014).

Sinagra, M. ve arkadaşları, değişken çalışma koşulları için Banki-Michell Ossberger türbini tasarımını incelemişlerdir. Çalışmalarında yılın oniki ayındaki debi değişimlerini de dikkate alarak türbinde üretilebilecek yıllık elektrik enerjisi miktarını hesaplamışlardır. Buna ilaveten akıştan elde edilebilecek gelir konusuna da değinmişlerdir (Sinagra vd., 2014).

Zolotarevich, V. P. ve arkadaşları, Francis ve Kaplan türbin çarkında rezonans üzerine farklı mod çeşitleri için deneysel araştırmalar yapmıştır. Francis ve Kaplan türbinlerinin kanatları, kılavuz kanatları ve rotoru üzerinde sonlu elemanlar yöntemiyle ANSYS programı yardımıyla analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmalarının sonucunda rezonans salınımlarının doğal olduğu ve tesadüf sonucu ortaya çıktığını, bu etkinin rotor bıçaklarına verdiği olumsuzluklardan kaçınılamayacağını belirtmişlerdir (Zolotarevich vd., 2017).

Richmond, M. C. ve arkadaşları, Nehirdeki balıkların barajdan geçişleriyle alakalı olarak akım simülasyonu uygulamışlardır. Bunun sonucunda türbinde balıkların zarar göreceğine kanaat getirip, balık geçişlerinin türbine girmeden farklı yöntemlerle gerçekleştirilmesi gerektiğine kanaat getirmişlerdir (Richmond vd., 2014).

Phitaksurachai, S. ve arkadaşları, Tayland'da yerli üretime destek amacıyla, küçük düşü yüksekliğinde (10 ila 20 m arasında) çalışan, genel verimlilikleri % 70 ila % 80 arasında olan boru tipi kaplan türbini tasarlayıp maliyetini hesaplamışlardır. Bu hesap sonucunda maliyetin 513 \$/kW olduğunu belirtmişlerdir (Phitaksurachai vd., 2017).

Viollet, P. L., su çarklarından türbinlere kadar olan geçiş dönemini incelemiştir. Bu incelemesinde büyük çaplı su çarklarına karşılık küçük boyutlarda olan ve aynı zamanda su çarkından elde edilen enerjinin türbinlerde kat be kat daha fazlasının elde edildiğine değinmiştir. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine katkıda bulunan hidro enerjinin, bu potansiyele sahip ülkelerde hem güçlü bir şekilde gelişeceğini hem de ülkenin gelişmişlik seviyesine katkıda bulunacağını savunmuştur (Viollet, 2017).

Özbay, E. ve Gençoğlu, M.T., yapmış oldukları çalışmalarında HES'lerin yapısı, HES'lerde kullanılan türbin tipleri ve HES'i oluşturan ana elemanları anlatarak HES modellemesi üzerine araştırmalar yapmışlardır. Sonuç olarak yapmış oldukları çalışmanın bütün HES'lere uygulanabilir olduğunu söylemişlerdir (Özbay ve Gençoğlu, 2009).

Sözen, A. ve arkadaşları, Francis türbinlerinde yönlendirme kanat açısının çark mukavemetine ve türbin verimine etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda türbin veriminde yönlendirme kanat açısına bağlı değişimin %14 civarında olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Aynı zamanda farklı kanat açılarında meydana gelen akış rejimindeki değişimler nedeniyle farklı parametrelerin (teğetsel hız bileşeni, basınç, hız ve kuvvet) türbin çarkında oluşturduğu etkilerin optimum yönlendirme açısının tespitini zorunlu hale getirdiğini belirtmişlerdir (Sözen vd., 2014).

Güner, E. ve arkadaşları, küçük hidrolik santrallerin (KHS) projelendirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken bazı temel hususlar üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonunda kapasiteleri düşük olduğu için ilk yatırım maliyetlerinin ve işletmeye alınma sürelerinin büyük ve orta ölçekli santrallere göre daha az olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra tasarım ve projelendirme işlemleri, ihale dökümanları, fizibilite raporları hazırlanması diğer büyük ve orta ölçekli santrallerden çok fark etmemesi yüzünden yatırımcıları ikilemede bıraktığı belirtilmiştir (Güner vd., 2009).

Demirhan, A. Y., santral karakteristiklerine göre türbin ve üretilebilecek elektrik enerjisi hesaplamalarını yaparak, seçilebilecek türbin ve elektrik satışından elde edilebilecek kazanç üzerine çalışma hazırlamıştır. Çalışma sonunda aynı çalışma aralığında Francis ve Kaplan Türbini arasında arıza ve inşaat maliyetleri hesaba katıldığında Francis türbin seçiminin daha mantıklı olacağını belirtmiştir (Demirhan, 2006).

Gümüşel, S., hidroelektrik santral kurulumu için fizibilite çalışması hazırlamıştır. Çalışmasında ele aldığı santral karakteristiklerine göre türbin hesaplamaları yaparak çalışma aralığındaki en makul türbini seçerek üretilebilecek elektrik enerjisi miktarını hesaplamıştır. Bu hesaplamalar sonucunda tesis maliyeti ile elektrik satışından elde edilen net kazanç miktarını oranlayarak tesisin 7,9 yılda kendini amorti edeceğini belirtmiştir. Barajın ömrünün 50 yıl olduğu kanaatiyle projenin uygulamaya geçirilmesinin makul olacağı sonucuna varmıştır (Gümüşel, 2007).

Kaya, D., biriktirmeli (gölet, baraj tipi) ve biriktirmesiz (nehir tipi) hidroelektrik santralleri teknik olarak karşılaştırmıştır. Biriktirmesiz tesisin daha kısa zamanda ve daha az maliyetle faaliyete geçirilebileceği, biriktirmeli tesisin ise yıl içinde değişen debi miktarından etkilenmeyerek enerji üretimi konusunda daha kararlı olduğu sonucuna ulaşmıştır (Kaya, 2007).

Aycaner, C., hidroelektrik santrallerde proje yönetimi konusunda çalışma hazırlamıştır. Sonuç olarak hidroelektrik tesisin faaliyete geçirilmesi öncesinde yatırım, inşaat ve işletme aşamasında iyi bir proje yönetiminin deneyim ve etkinliği sayesinde öngörülemeyen riskler, planlama ve maliyet açısından büyük faydalar sağlayacağı kanaatine varmıştır (Aycaner, 2014).

Köse, F., Francis türbin deney seti kurarak kanat verimliliğinin iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışma sonunda hidrolik verim ve genel verim değerlerini inceleyerek bu değerlerin çark kanat sayısı, açısı gibi değerlerini doğrudan değiştirdiği sonucuna varmıştır (Köse, 1996).

Aylı İnce, Ü. E., çalışmasında ilk olarak Francis tipi türbin çarkı tasarımı yapmıştır. Daha sonra farklı ayar kanadı açıklıklarında stator ve rotor parçaları arasındaki etkileşimi incelemiştir. Sonuç olarak model parametreler oluşturularak üretilecek ve test edilecek türbinlere temel parametreler belirlemiştir (Aylı İnce, 2016).

Bu çalışma ile gelecekteki araştırmacılara yol göstermek ve çalışmalarına ışık tutmak hedeflenmektedir. HES'ler için ihtiyaç olan baraj ve rezervuar alanı zaten bu projeler kapsamında inşaa edilmektedir. İnşaat maliyetlerine nazaran daha az maliyeti olan ilave ekipmanlarla santral binası ve elektrik dağıtım tesisleri oluşturularak hem barajın ve santralin kendi elektrik ihtiyacı karşılanacak hem de elde edilen elektrik enerjisinin satışından kazanç sağlanacaktır. Tüm bunlar yapılırken sulama amacı da engellenmeden devam edebilecek, ayrıca sağlanan kazançla projenin yapım maliyetleri amorti edilebilecektir.

Sulama göletlerinin orta ölçekli hidroelektrik santrale dönüştürülmesi ve elektrik üretim potansiyelinin araştırılması kapsamında ele alınan Sakarya ilindeki Turgutlu Göleti ile Pamukova ilçesi, Turgutlu, Bayrakçaşehir, Gökgöz köyleri ve Geyve ilçesine bağlı Düzakçeşehir köyüne ait brüt 98 ha alanda borulu sulama amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, inşaa edilecek göletin mevcudiyetinden faydalanılarak bir HES çalışması yapılmıştır. Sulama için inşaa edilen göletlerin HES'e dönüştürülerek elektrik enerjisi üretmesi hedeflenmektedir.

Çalışma kapsamında öncelikli olarak gölet rezervuarı potansiyelinden yararlanılarak, gölet gövdesinin ve mansap sahasının bu yeni elemanların ilavesine uygunluğu incelenmiştir. Daha sonra göletin mevcut elemanlarına, HES elemanları dahil edilerek çalışmalar tamamlanmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde gölet rezervuarının ve mansap sahasının bu yeni elemanların teşkili için uygun olduğuna kanaat getirilip, yeni elemanların tasarımına geçilmiştir. Bu bağlamda ilave edilmesi gerektiği düşünülen denge bacası, türbin, jeneratör, transformatör, şalt sahası, santral binası ve kuyruksuyu yapısı elemanlarıyla ilgili olarak çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda 2MW kurulu güce sahip orta ölçekli bir HES tasarlanmıştır.

2. HİDROELEKTRİK ENERJİ VE HİDROELEKTRİK SANTRALLER

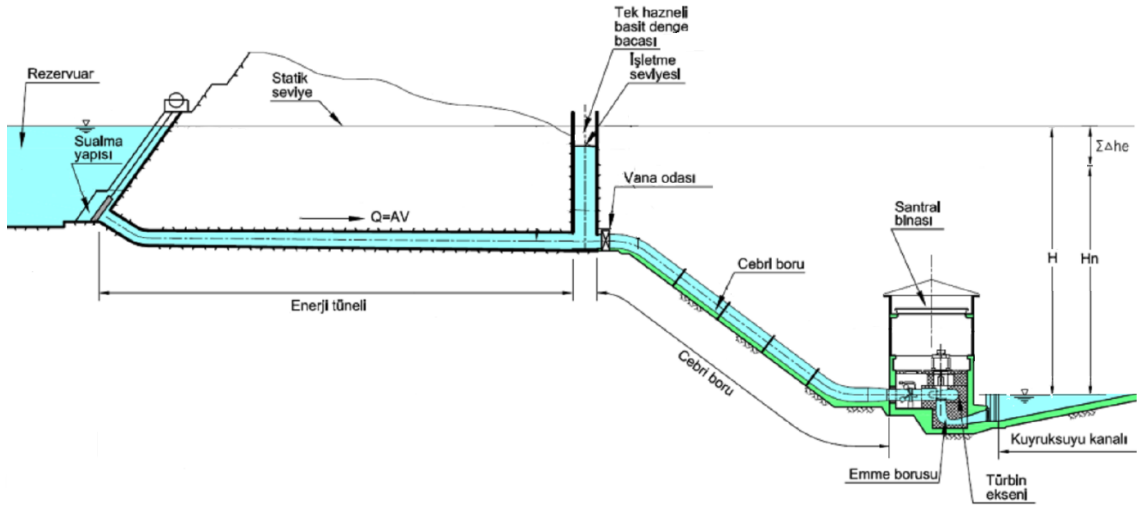
Hidroelektrik enerji; suyun potansiyel ve kinetik enerjisinin, türbin vasıtasıyla mekanik enerjiye dönüştürüldüğü, türbindeki mekanik enerjinin de jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürüldüğü enerji çeşididir. Bu enerjinin elde edildiği yapıya ve sistemler topluluğuna hidroelektrik santral (HES) adı verilir.

Hidroelektrik santraller;

- Yenilenebilir kaynak olan sudan enerji elde etmeleri,
- Sera gazı emisyonu yaratmamaları,
- İnşaatın yerli imkanlarla yapılabilmesi,
- Teknik ömrünün uzun olması ve yakıt giderlerinin olmaması,
- İşletme bakım giderlerinin düşük olması,
- İstihdam imkanı yaratmaları,
- Kırsal kesimlerde ekonomik ve sosyal yapıyı canlandırmaları yönünden en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır (ETKB, 2018b).

2.1. Hidroelektrik Santrallerin Yapısı

HES'lerin ana bölümleri; baraj seti ve arkasındaki rezervuar suyu, su giriş ve çıkış yapıları, tüneller, denge bacası, cebri (basınçlı) borular, vana odası, türbinler, jeneratörler, transformatörler, santral binası, kuyruksuyu yapısı, şalt sahası ve elektrik enerjisi dağıtımını denetleyen yardımcı donanımlardır. Santralin giriş gücü, suyun potansiyel ve kinetik enerjisinden oluşmaktadır. Rezervuardan cebri boru içine akan su, sahip olduğu potansiyel enerji ve türbine kadar kazanmış olduğu kinetik enerji ile türbini çevirir ve çıkışta jeneratörde elektrik enerjisi elde edilmiş olur. Basit bir HES 'in yapısı Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Türbinler, akan suyun hidrolik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürler. Açığa çıkan mekanik enerji sayesinde jeneratörler vasıtasıyla elektrik üretimi gerçekleşir. Transformatörler, jeneratörler ile üretilen alternatif gerilimi uzak mesafelere iletmek üzere, gerilimi yükseltmek için kullanılırlar. Aynı zamanda transformatörler iç ihtiyaçlar için gerilimi düşürmeye de kullanılırlar (Özbay ve Gençoğlu, 2009).



Şekil 2.1 Hidroelektrik Santral Şeması

2.2. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması

Hidroelektrik Santraller, genel hatlarıyla aşağıda ifade edildiği şekilde sınıflandırılabilir. (ETKB, 2018b).

2.2.1. Düşü miktarlarına göre sınıflandırma

Alçak düşülü HES'ler ($H < 10$ m)

Orta düşülü HES'ler ($10 \text{ m} < H < 50$ m)

Yüksek düşülü HES'ler ($H > 50$ m)

2.2.2. Ürettikleri enerjinin sürekliliğine göre sınıflandırma

Baz Yük HES

Pik Yük HES

Hem Baz hem de Pik Yük HES

2.2.3. Kurulu güçlerine göre sınıflandırma

Çok küçük (mikro) kapasiteli (< 100 kW)

Küçük (mini) kapasiteli (100-1000 kW)

Orta kapasiteli (1000-10000 kW)

Büyük kapasiteli (> 10000 kW)

2.2.4. İnşaat yapım türüne göre sınıflandırma

Ağırlıklı Beton Gövdeli Barajlı HES
Beton Kemer Gövdeli Barajlı HES
Kaya Dolgu Gövdeli Barajlı HES
Kum-Çakıl Dolgulu Gövdeli Barajlı HES

2.2.5. Depolama yapılarına göre sınıflandırma

Depolamalı (rezervuarlı) HES'ler
Nehir Tipi (regülatör) HES'ler
Pompaj Depolamalı (rezervuarlı) HES'ler

2.2.6. Santral binasının konumuna göre sınıflandırma

Yer Üstü HES
Yer Altı HES
Yarı Gömülü veya Batık HES

3. HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN YAPI ELEMANLARI

Bir hidroelektrik santralinin temel yapı elemanları şunlardır;

- Su alma yapısı
- Derivasyon-Dipsavak
- Dolusavak
- Denge bacası
- Cebri (basınçlı) boru
- Vana odası ve vanalar
- Türbin
- Jeneratör
- Transformatör
- Şalt sahası
- Santral binası
- Kuyruksuyu yapısı

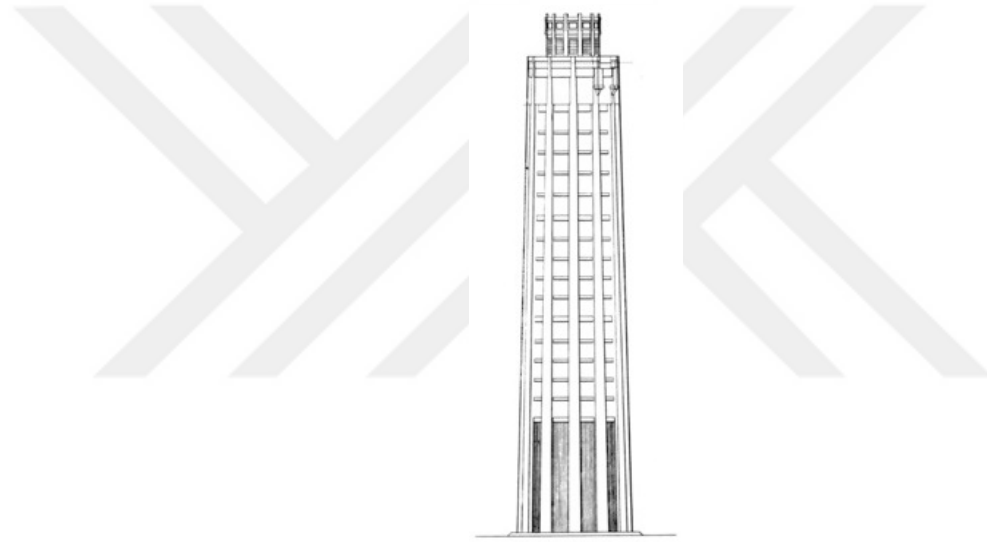
Şekil 3.1.'de Atatürk Barajı üzerinden bazı HES yapı elemanları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Atatürk Barajı üzerindeki HES elemanlarının gösterimi.

3.1. Su Alma Yapısı

Su alma yapıları rezervuarlı santrallerde, dipsavak yapısına ve devamında cebri boru ile türbinlere suyun iletimini sağlamak amacıyla yapılırlar. Şekil 3.2.'de su alma kulesine bir örnek gösterilmiştir. Farklı kotlardaki suyu alabilmek için su alma yapısı içine çok sayıda giriş ağız yapılır. İlave olarak giriş ağızlarının ön tarafına ızgara yapılır. Izgara yapılmasının sebebi suyun içindeki çeşitli yabancı ve zararlı maddelerin (ağaç dalı, buz parçası vs.) dipsavak kondüvisi (tüneli) ve cebri boru içerisinde ilerleyerek vana ve türbinlere zarar vermesini önlemektir. Şekil 3.3.'de Amerika Birleşik Devletlerinde (USA) bulunan Hoover Barajının su alma kuleleri görülmektedir.



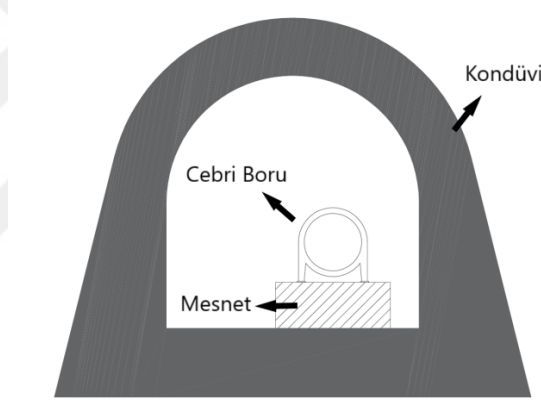
Şekil 3.2. Örnek bir su alma kulesi ön görünüşü.



Şekil 3.3. Hoover Barajı su alma kuleleri (USA).

3.2. Derivasyon-Dipsavak

Derivasyon, baraj inşaatı sırasında üzerindeki akarsuyun güzergahının değiştirilmesidir (DSİ 2012). Buradaki amaç memba ve mansap batardolarının yapılmasına zemin hazırlayarak, baraj temel kazısının sağlıklı ve kuru bir zeminde gerçekleşmesini sağlamaktır. Barajın dipsavak elemanı inşaat esnasında derivasyon olarak inşaat bittiğinde ise dipsavak olarak kullanılabilir. Dipsavaklar gerektiğinde rezervuardaki suyu kontrollü olarak mansaptaki akarsu yatağına vermek için de kullanılırlar. Buradaki genel amaçlardan bir tanesi de can suyu olarak akarsuyun ve ekolojik sistemin devamlılığı için canlıların yaşam kaynağı olan sudan mahrum kalmamalarını sağlamaktır. Dipsavak yapısının asıl görevi ise su alma yapısı vasıtasıyla aldığı rezervuardaki suyu cebri boruya ileterek suyun türbinlere ulaşmasını sağlamaktır. Şekil 3.4. ve Şekil 3.5.'de cebri boruyla birlikte kondüvi enkesitleri görülmektedir.



Şekil 3.4. Derivasyon-dipsavak kondüvisi enine kesiti.



Şekil 3.5. Kondüvi ve cebri boru görünüşü.

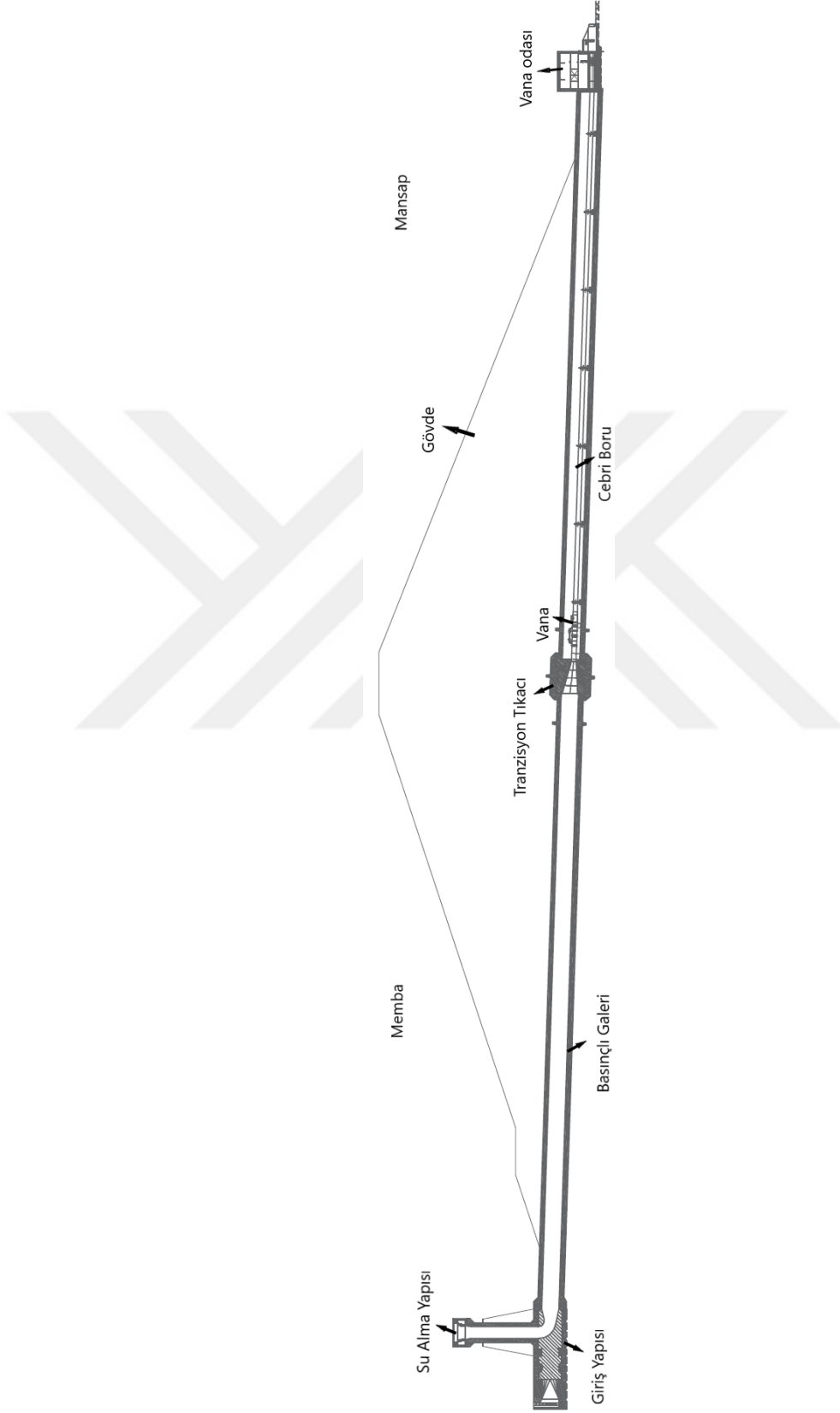
Derivasyon - Dipsavak yapısını oluşturan elemanlar ve kısımlar aşağıda belirtildiği gibi ifade edilebilir.

- Su giriş yapısı
- Su alma yapısı
- Tünel/kondüvi
- Tıkaç betonu
- Cebri boru
- Vana odası ve vanalar

Derivasyon için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar aşağıdaki şekilde söylenebilir.

- Açık kanallı derivasyon
- Kondüvi
- Tünel

Şekil 3.6.'da derivasyon-dipsavak yapısına bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Derivasyon-dipsavak kondüvisi boy kesiti.

3.3. Dolusavak

Dolusavak, baraj rezervuarındaki suyun fazlasını mansaba taşıyan yapılar olarak adlandırılır. Dolusavaklar üzerlerinde kapak olup olmamasına göre kontrollü ve kontrolsüz olarak ikiye ayrılabilir (Bulu, 2009). Şekil 3.7.'de kontrollü dolusavak görülmektedir. Dolusavak yapısını oluşturan elemanlar ve kısımlar aşağıda belirtildiği gibi ifade edilebilir (United States Department of the Interior, 1987).

- Yaklaşım kanalı
- Eşik yapısı
- Boşaltım kanalı
- Enerji kırıcı havuz

Şekil 3.8.'de dolusavak boşaltım kanalı ve enerji kırıcı havuz görülmektedir.



Şekil 3.7. Kontrollü dolusavak.



Şekil 3.8. Boşaltım kanalı ve enerji kırıcı havuz.

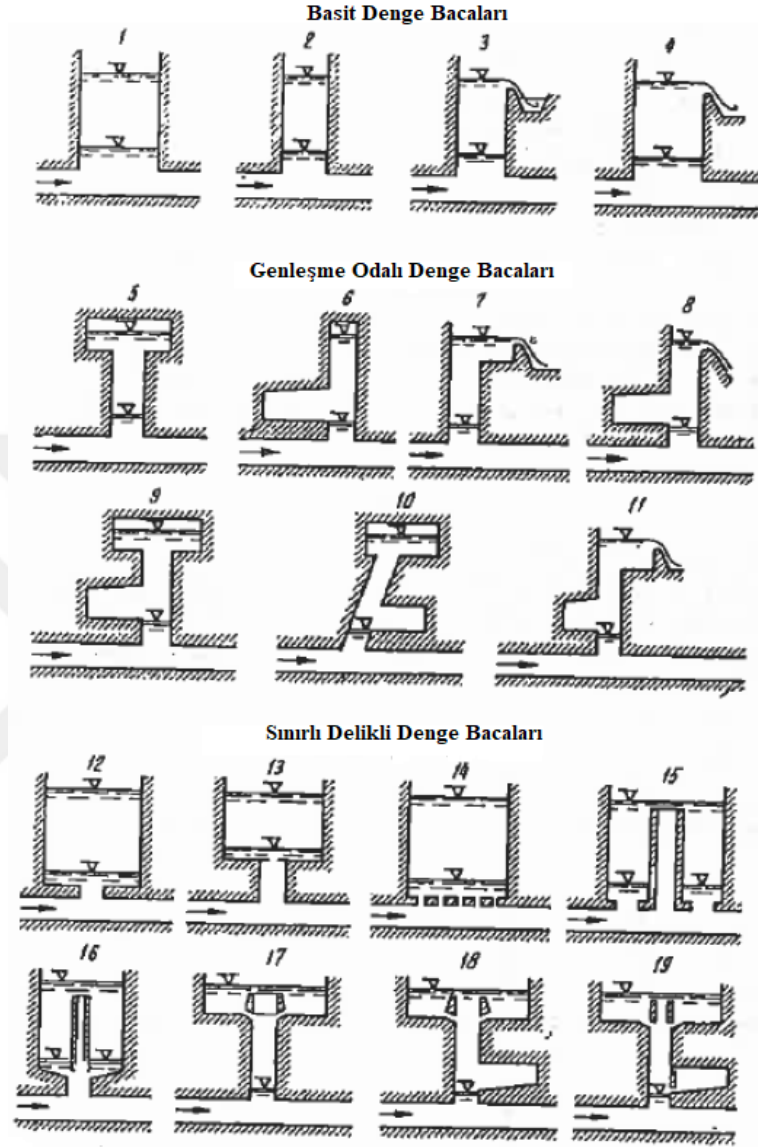
3.4. Denge Bacası

Denge bacaları, baraj rezervuarı ile türbinlerin arasında bulunan basınçlı su iletim hattında su darbesiyle meydana gelen salınımların sebep olduğu zararlı etkileri önlemek amacıyla genellikle enerji tüneli sonunda ve santral binasından önce tesis edilen büyük su depolarıdır. Bir başka ifade ile denge bacaları bir taraftan türbin kapakçıklarının kapanması (türbinin yük atması) ile su akımında oluşan basınç değişimlerini kontrol ederken diğer taraftan türbin kapakçıklarının açılması (türbinin devreye girmesi) ile su akımını ivmeleyerek türbinlerin ihtiyacı olan gerekli suyu besler. Şekil 3.10.'da uygulanabilecek denge bacası tiplerine örnek kesitler gösterilmiştir.

Kısaca, denge bacaları basınçlı çalışan su iletim hatlarında basınç dalgalarını sönmüleyerek kontrol altında tutar ve bunların membaya yayılmasına mani olarak akımın stabilizasyonunu ve hız kontrolünü düzenler. Şekil 3.9.'da dairesel kesitli örnek bir denge bacası görülmektedir. Pratik bir yaklaşımla, baraj rezervuarı ile türbinler arasındaki basınçlı su iletim hattı uzunluğunun brüt düşünün 3 katından büyük olması halinde denge bacasına veya basınç düşürücü vanaya ihtiyaç olacağı belirtilmektedir. Gerçekte projenin özelliklerini göz önüne alarak yapılacak su darbesi analizi ile denge bacasına ihtiyaç olup olmadığının ortaya konulması gerekir (Cofcof, 2011).



Şekil 3.9. Dairesel kesitli denge bacası.



Şekil 3.10. Bazı denge bacası tipleri (Mosonyi, 1991:136).

3.5. Cebri (Basınçlı) Boru

Cebri borular yükleme odasını/denge bacasını türbin salyangozuna bağlayan ve daima basınç altında çalışan su iletim hattıdır. Cebri borular çeşitli malzemelerden yapılabilirler. Bu malzemeler aşağıdaki şekilde söylenebilir;

- Çelik
- Betonarme/öngerilmeli betonarme
- Yüksek yoğunluklu polietilen boru/CTP (Cam Elyaf Takviyeli Polyester)

Türbinlere su iletimini sağlarken devamlı basınç değişimine maruz kaldıklarından oluşacak gerilmelere en iyi dayanacak malzeme seçimi açısından emniyetli ve güvenilir olmak zorundadır. Projenin özelliklerine bağlı olarak açıkta, gömülü veya tünel içinde olurlar. Şekil 3.11.'de Atatürk Barajının açıkta bulunan cebri boruları görülmektedir.

Hidroelektrik santral tesislerinin cebri boruları su darbesi dâhil işletme basınçlarından çok daha fazla basınca dayanmak durumundadır ve her zaman eğim boyunca döşenir. Cebri borular iki şekilde tasarlamaktan söz edebiliriz. Birincisi yükleme odası/denge bacasından itibaren her bir türbine ayrı bir cebri boruyu döşemek, ikincisi ise yükleme odası/denge bacasından itibaren tek bir ortak cebri boru döşenerek alt uçta türbin sayısı kadar kollara ayırarak her bir türbinin ayrı ağızdan beslenmesi şeklinde ifade edilebilir. Bu konudaki tecrübeler göstermiştir ki tesis düşüsü 40–60 m den daha düşük ise ayrı bir cebri boru ekonomik olmakta, düşü 80 m den daha yüksek ise çok kollu ortak cebri boru ekonomik olmaktadır (Erdem, 2006).



Şekil 3.11. Atatürk Barajı türbinlerini besleyen cebri borular.

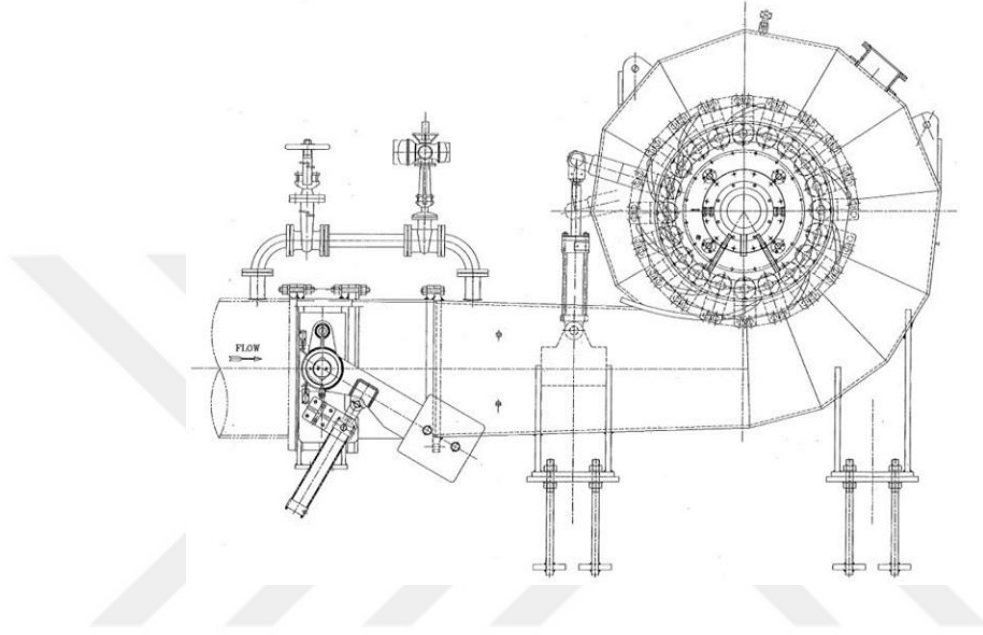
3.6. Vana Odası ve Vanalar

Vanaları çevreleyen yapılar vana odası denir. Vanalar ise akış kontrolünü sağlayan mekanik elemanlardır. Şekil 3.13.'de kelebek ve karesel vanalar gösterilmiştir. Vana odasının boyutları; cebri borunun çapı, vana büyüklüğü ve montaj için gerekli alanla doğru orantılıdır. Hatta gerekli olduğunda vanaların sökülmesi için kullanılacak vinç, kaldırma ekipmanı da bu kriterlere eklenmelidir. Yani ihtiyaç ölçüsünde vana odası boyutlandırılmalıdır. Vana odasının içinde pencere ve havalandırma sistemi mutlaka bulundurulmalıdır ve giriş kapısı yeterli büyüklükte tasarlanmalıdır. Bütün bu hususlara ilave olarak odanın çatı yalıtımı ve temel drenajı da sağlanmalıdır.

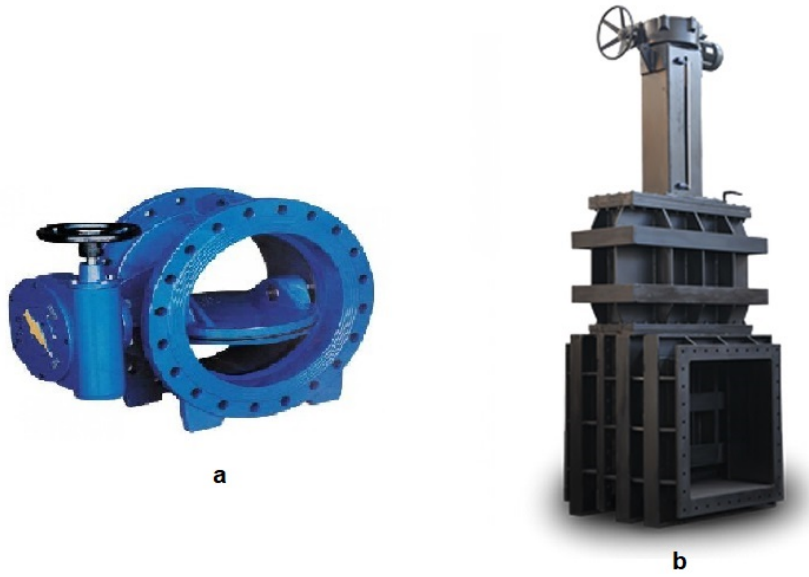
Vanaları hizmet ettikleri amaca göre ikiye ayırabiliriz. Bunlar aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

- Tehlike vanası
- Ayar/kontrol vanası

Şekil 3.12.'de türbin ayar/kontrol vanası ve tehlike vanası ile bağlantı şeması görülmektedir.



Şekil 3.12. Cebri boru ile türbin salyangozu arasındaki vana bağlantısı.



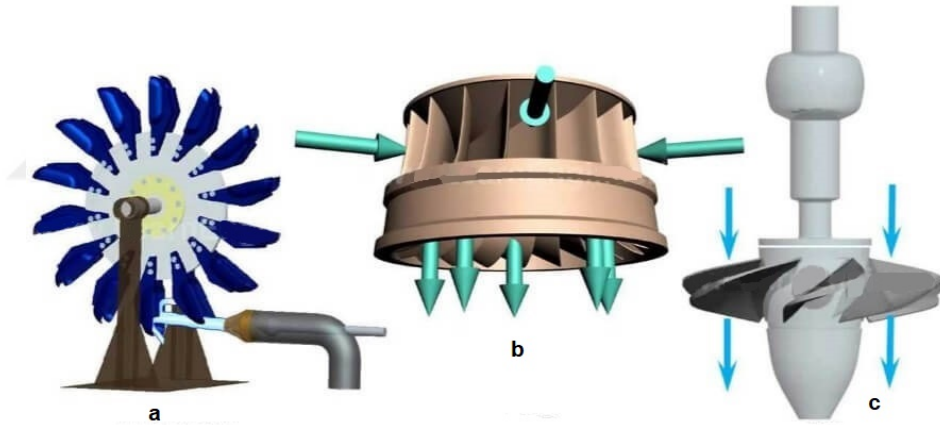
Şekil 3.13. Kelebek vana (a) ve karesel vana (b).

3.7. Türbin

Türbin, akışkanın potansiyel ve kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinedir. Bu dönüştürme aşağıda açıklandığı üzere iki şekilde yapılır (Bulu, 2011).

- Birincisi, su basıncının türbin çarkının kanatlarına kuvvet etki ettirdiği *reaksiyon* türbinleridir. Reaksiyon türbinlerinde çark su içine tamamen batmış olarak döner. Francis, Kaplan ve Uskurlu türbinler bu tip türbinlerdir.
- İkincisi, su basıncının çarka girmeden önce su jeti şeklinde kinetik enerjiye dönüşen *impuls* türbinleridir. Su jeti çark çevresine yerleştirilmiş kovalara çarparak dönme meydana getirir. Pelton ve Banki-Michell Ossberger türbinleri bu tip türbinlerdir.

Şekil 3.14.'de yaygın olarak kullanılan bazı reaksiyon ve impuls türbinleri gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Pelton (a), Francis (b) ve Kaplan (c) türbinleri.

Türbinden elde edilen güç, türbine etki eden güç ile türbin genel veriminin çarpımı olarak ifade edilir.

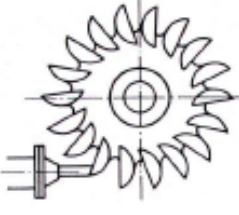
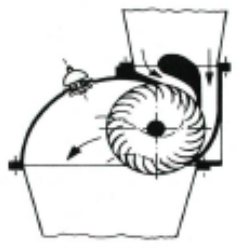
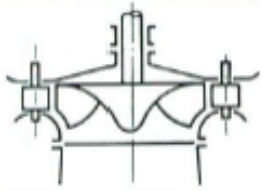
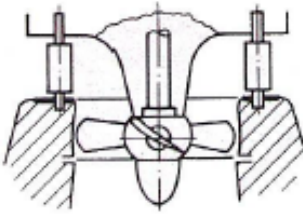
$$P_t = P \cdot \eta_t \quad (3.1.)$$

P_t : Türbinden elde edilen güç

P : Türbine etki eden güç

η_t : Türbin genel verimi

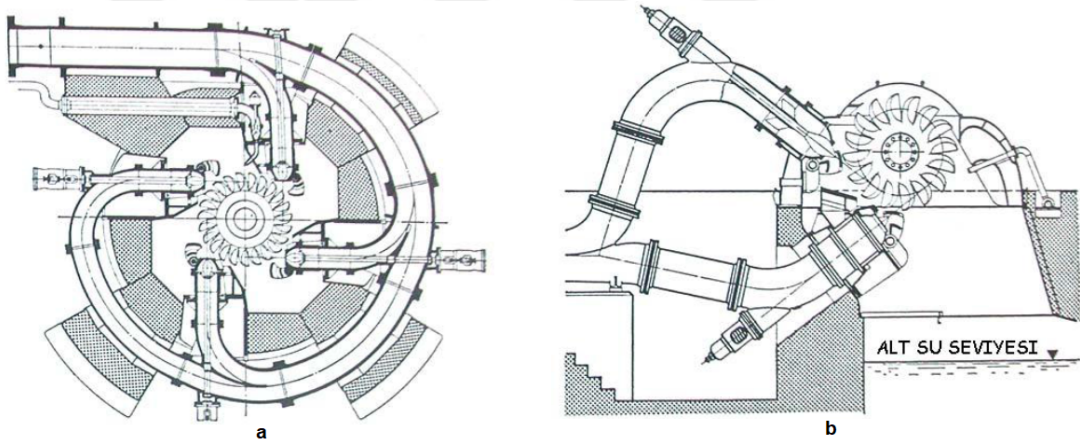
Şekil 3.15.'de bazı türbinlerin çalışma tarzına göre sınıflandırılması görülmektedir.

EŞBASINÇ TÜRBİNLERİ (ETKİ TİPİ TÜRBİNLER)			
Ortak özellikleri çark atmosfer basıncında ve kısmi giriş var			
Adı	Resmi	Dönel Çark	Yöneltici çark
Serbest hüzmeli türbin (Pelton Türbini)		Çok sayıda çift taraflı kepçe biçimli parçalardan oluşmuş, teğetsel girişli ve ayarlanamaz çarklı	Güce göre 1 ila 6 ayarlanabilir püskürtücüden oluşur ve hüzmeye çelici.
Teğetsel giriş çıkışlı tambur çarklı (Banki-Michell Ossberger Su Türbini)		Tambur tipi basit radyal çark tipli. Su çarktan iki kez geçer.	Tek veya birden fazla yönelticili
KARŞI BASINÇLI TÜRBİNLERİ (REAKSIYON TİPİ)			
Ortak özellikleri, çarkın girişindeki basınç çıkışından daha büyük. Çalışma anında çark kanatları tamamen su ile dolu			
Adı	Resmi	Dönel Çark	Yöneltici çark
Francis Tipi Türbin		Tek veya çift eğrilikli radyal çark kanatlı. Dıştan içe doğru akış söz konusu ve kanatlar ayarsız.	Ayarlanabilir radyal yöneltici çark kanatları
Kaplan Türbini		Taşıyıcı kanat teorisine göre çizilmiş kanatlar, aksenal akışlı ve ayarlanabilir dönel çarklı	Ayarlanabilir radyal veya aksenal yöneltici çark kanatları

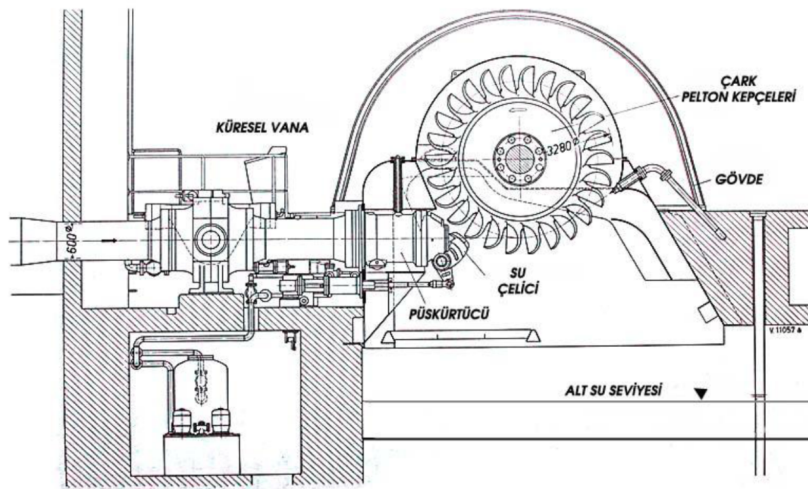
Şekil 3.15. Reaksiyon ve impuls türbinlerinin çalışma tarzına göre sınıflandırılması (Çallı, 2017).

3.7.1. Pelton Türbini

Lester Alan Pelton tarafından geliştirilen bu türbin impuls türbini sınıfındadır. Bu tip türbinlerde akışkan kepçelere atmosfer basıncında girip yine atmosfer basıncında çıkar. Pelton türbininin dönel çarkının dış çevresinde kepçeye benzeyen kanatlar vardır. Su püskürtücülerden çıktıktan sonra bu kepçelere girerek hidrolik enerjinin mekanik enerjisine dönüşümünü sağlarlar. Genel olarak türbin gücüne göre 1'den 6'ya kadar püskürtücü bulunur. Şekil 3.16. ve 3.17.'de Tek, iki ve dört püskürtüclü Pelton türbini tesisleri gösterilmiştir. Şekil 3.18.'de ise Pelton türbini çarkı görülmektedir. Genel verimleri % 90 civarındadır. Verimlilikleri bir püskürtüclü türbinlerde maksimum debinin, % 30 ve % 100'ü ve çok püskürtüclü türbinlerde maksimum debinin, % 10 ve % 100'ü aralıklarında çok iyidir. 60 ila 1000 m düşü aralığında kullanılabilirler (Bulu, 2011; Çallı, 2017).



Şekil 3.16. Dört (a) ve iki (b) püskürtüclü bir Pelton türbini tesisleri (Çallı, 2017).



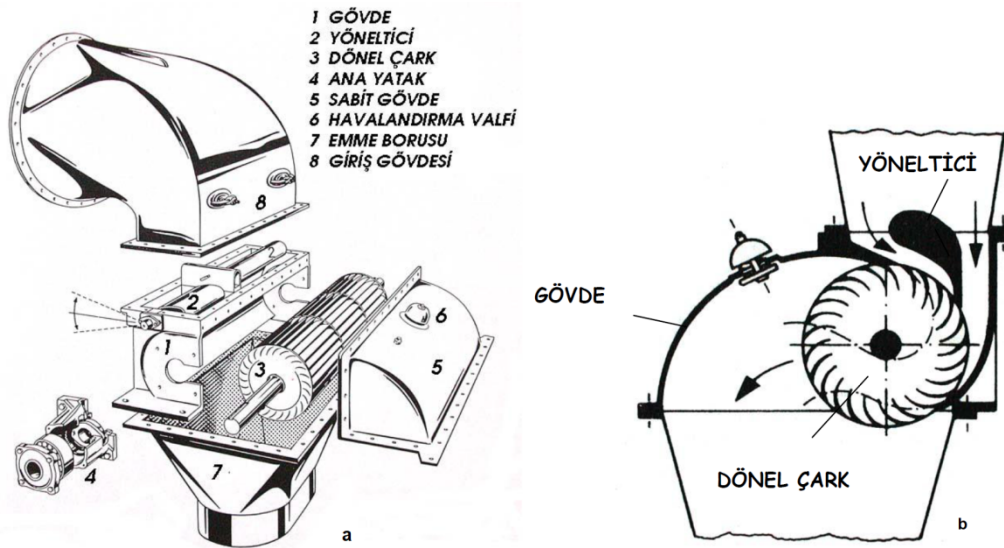
Şekil 3.17. Tek püskürtüclü Pelton türbini tesisleri (Çallı, 2017).



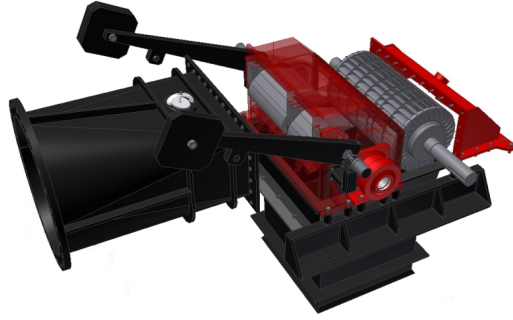
Şekil 3.18. Pelton türbin çarkı.

3.7.2. Banki-Michell Ossberger Türbini

İmpuls türbini sınıfında olan Banki türbin tipini Macar asıllı Banki ile İngiliz asıllı Michell bulmuş ve Ossberger firması da imalatı yaptığı için genel olarak Banki-Michell Ossberger su türbini olarak adlandırılır. Küçük ve orta güçlü su kuvvetlerinde rahatlıkla kullanılır. Yapısı çok basittir. 40 lt/s ila 13 m³/s debiler için 2,5 m ila 200 m düşülerde 3000 kW güce kadar çıkabilirler. Verimleri genel olarak % 80 civarındadır. Dönme sayıları ise 50 ila 200 dev/dak arasında değişir. Su türbini ise, gövde, tambur tipi dönel çark ve yönleticiden oluşur. Şekil 3.19.'da türbinin elemanları ve kesiti gösterilmiştir. Şekil 3.20.'de ise türbinin genel görünüşü verilmiştir. Banki-Michell Ossberger türbininin en büyük özelliği suyun dönel çarktan iki kez girip çıkmasıdır (Çallı, 2017).



Şekil 3.19. Banki-Michell Ossberger türbini elemanları (a) ve kesiti (b) (Çallı, 2017).

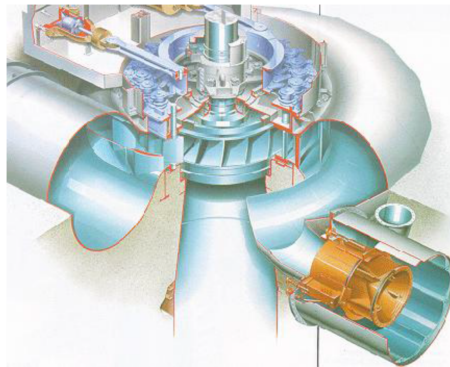


Şekil 3.20. Banki-Michell Ossberger türbini genel görünüşü.

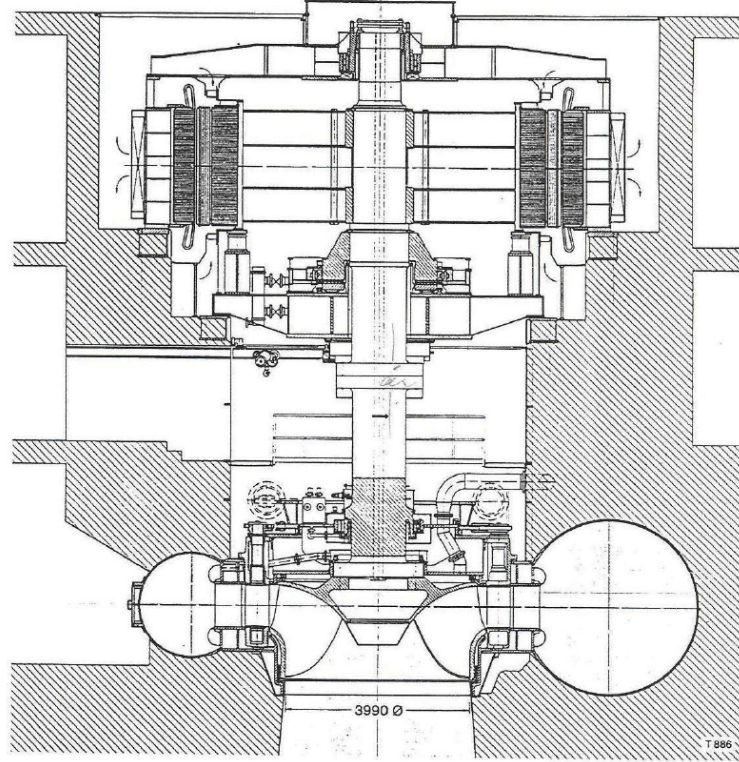
3.7.3. Francis Türbini

Bu türbin tipini ilk kez 1850 yılında James B. Francis bulduğundan Francis adı verilmiştir. Francis türbinine su, yöneltici çarktan dönel çarka dıştan girip, çark kanatları boyunca aşağıya doğru giderek çarkı terk eder. Yani su çarka radyal girip, çarkı aksel terk eder. Türbin tipi karşı basınçlıdır (Reaksiyon tipi). Şekil 3.21.'de Francis türbini tesisi elemanları gösterilmiştir.

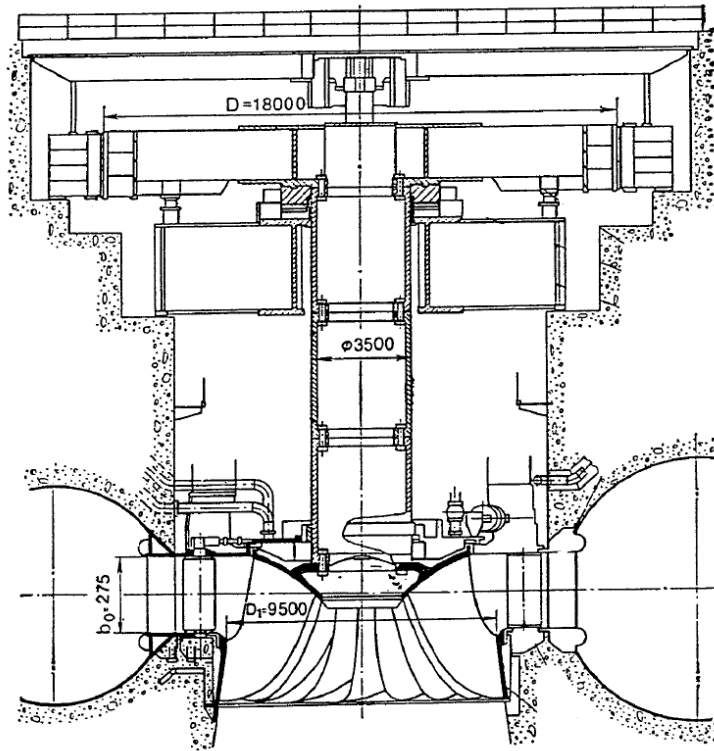
Francis tipi türbinleri 600 m düşüye kadar çalışırlar ve bu tip türbinlerden 500 MW'a kadar güç elde edilebilmektedir. Verimlilikleri maksimum debinin, % 40 ve % 100'ü aralıklarında çok iyidir. Bu türbin tipinin Pelton türbinine göre avantajı, daha küçük boyutlarda imal edilerek, daha yüksek dönme sayılarında çalıştırılabilmesidir. Bu sayede imalattan dolayı bir hayli ekonomi sağlanır. Ülkemizde DSİ denetiminde bulunan su türbini tesislerin büyük çoğunluğunda (Seyhan, Karakaya, Sarıyar, Atatürk Barajı) Francis tipi türbin kullanılmaktadır. Bu tip türbinler yatay ve düşey eksenli olarak kullanılabilirler. Francis türbini; ayarlanabilir yöneltici kanatlar, dönel çark ve emme borusundan meydana gelir. Yapısı basit ve kullanışlıdır. Şekil 3.22. ile Şekil 3.23.'de düşey eksenli ve büyük kapasiteli Francis tipi türbin tesisi kesiti görülmektedir (Bulu, 2011; Çallı, 2017).



Şekil 3.21. Francis türbin tesisi elemanları.



Şekil 3.22. Düşey eksenli Francis türbin tesisi kesiti (Başşme, 2003).



Şekil 3.23. Büyük kapasiteli Francis türbin tesisi kesiti (Krivchenko 1993).

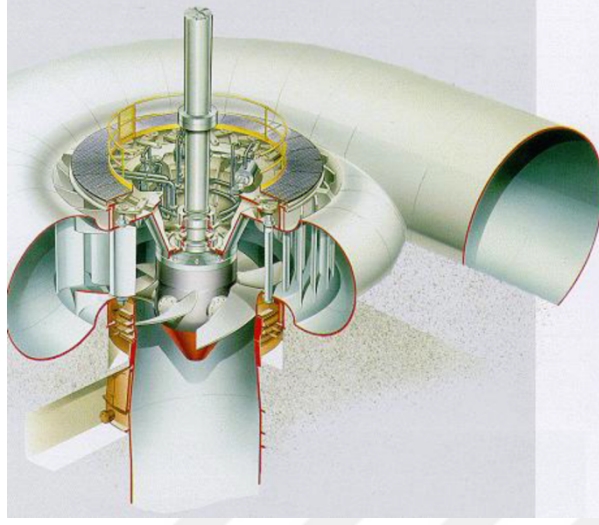
Şekil 3.24.'de Francis türbin çarkı görülmektedir.



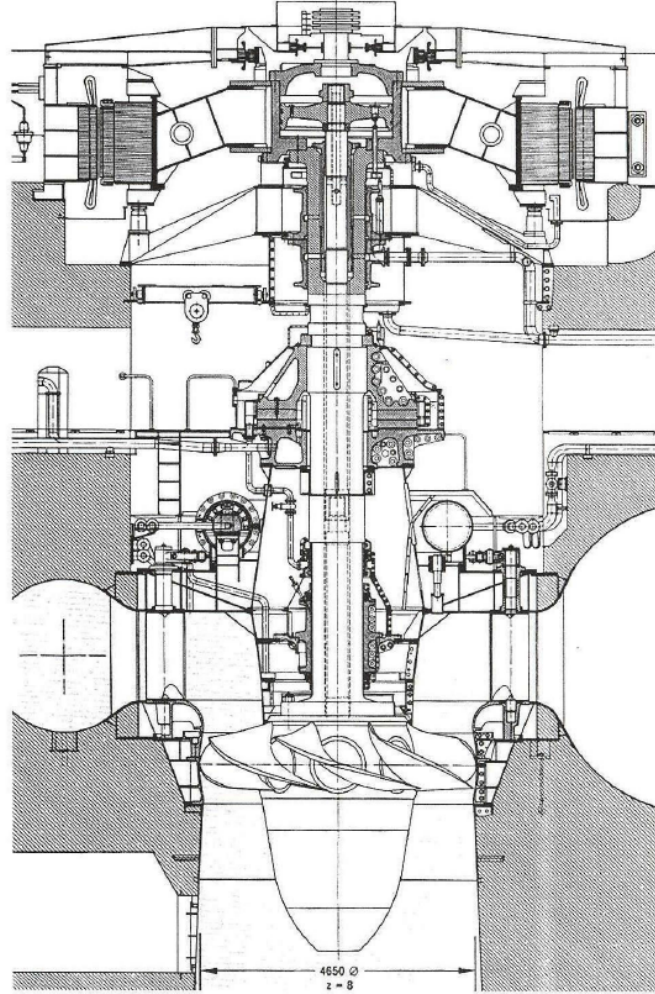
Şekil 3.24. Francis türbin çarkı.

3.7.4. Kaplan Türbini

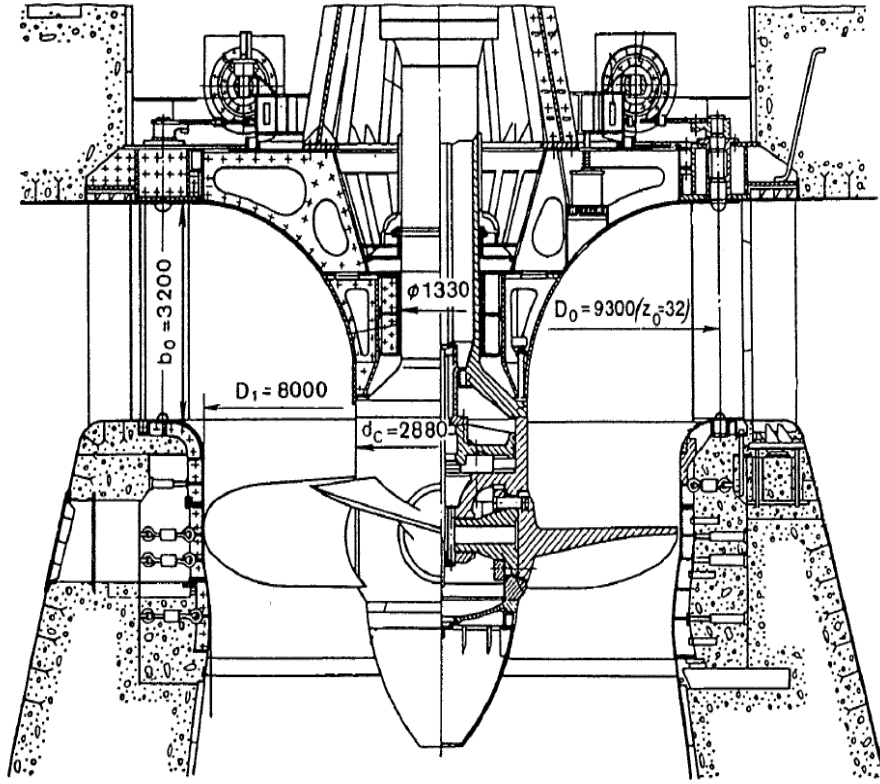
1913 yılında Avusturya'lı makine mühendisi Prof. Victor Kaplan tarafından bulunan ve patenti alınan bu türbine Kaplan türbini adı verilmiştir. Türbin dönel çarkı pervane tipi olup reaksiyon türbinleri sınıfına girmektedir. Şekil 3.25.'te Kaplan türbini tesisi elemanları gösterilmiştir. Bu türbinde suyun girişi ile çıkışı arasında basınç farkı vardır. Bu çarkların özgül hızları büyük olup, yüksek debilerde ve buna karşılık düşük düşülerde çalışırlar. Bunlardaki ortalama düşü değerleri 80 m'nin altındadır. Genel olarak 2 m ile 60 m düşüler arasında çalışırlar. Debi değerleri 2 ile 4000 m³/s aralığında değişir. Kaplan türbinleri ya salyangoz gövdeli ya da boru tipi olarak imal edilirler. 20 metre düşüye kadar beton salyangoz gövdeli, daha büyük düşülerde ise çelik sac salyangoz gövdeli edilmelidirler. Bunun en büyük sebebi oluşan basınca karşı koyabilmesi içindir. Şekil 3.26.'da çelik salyangoz gövdeli bir Kaplan türbini tesisi kesiti görülmektedir. Şekil 3.27.'de ise beton salyangoz gövdeli bir Kaplan türbini tesisi kesiti görülmektedir. Bugüne kadar imal edilen en büyük Kaplan türbininde elde edilen güç 100 MW olup dönel çark çapı 10 m'nin üstündedir. Şekil 3.28'de Kaplan türbin çarkı görülmektedir. Genel verimleri de % 80 ila % 95 arasında değişir. Düşey ya da yatay eksenli olarak monte edilip çalıştırılabilirler. Kaplan tipi türbinler klasik nehir türbinleri olarak ta ifade edilirler. 3 m ila 8 m dönel çark çapına kadar kanatlar ayarlanabilir olarak imal edilirler. Buradaki ayar, hidrolik servomotorlarla sağlanır. Özel durumlarda kanatların ayarlı olmasından vazgeçilebilir. Bu durumda türbinin adı Uskur tipi olmaktadır. Kaplan türbinleri Francis türbinlerine nazaran özgül hızları yüksektir. Bu büyük avantaj nedeniyle jeneratöre arada şanzıman olmadan da direkt olarak bağlanabilirler. Francis türbinleri orta düşü için Kaplan türbinleri ise alçak düşü için daha ekonomiktir (Çallı, 2017).



Şekil 3.25. Kaplan türbin tesisi elemanları.



Şekil 3.26. Düşey eksenli ve çelik salyangoz gövdeli Kaplan türbin tesisi kesiti (Başşme, 2003).



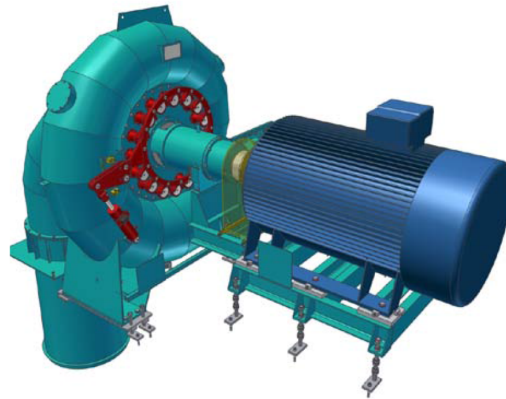
Şekil 3.27. Düşey eksenli ve beton salyangoz gövdeli Kaplan türbin tesisi kesiti (Krivchenko 1993).



Şekil 3.28. Kaplan türbin çarkı.

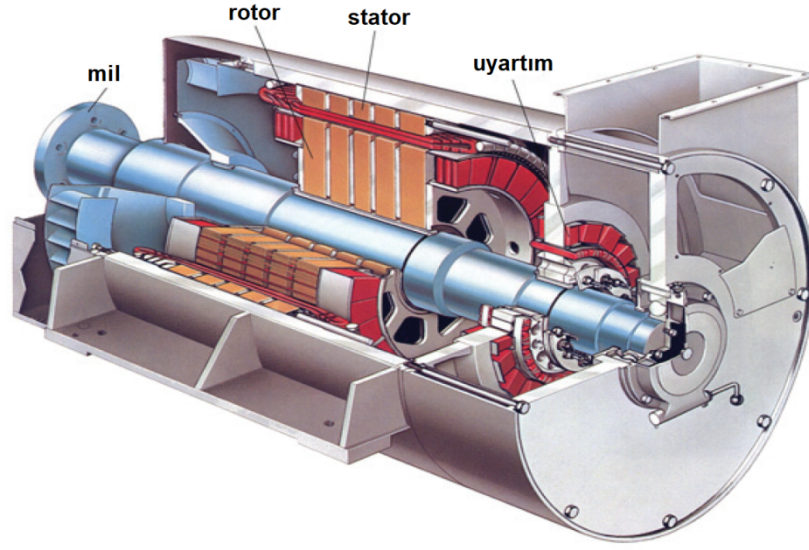
3.8. Jeneratör

Jeneratör, türbindeki mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makina olarak tanımlanabilir. Jeneratörler, en küçük tesisten en büyüklerine kadar değişik büyüklük ve kapasitelerde imal edilebilir. Şekil 3.29.'da bir türbin ve jeneratör ünitesi görülmektedir. Alternatif akım üretenlerine alternatör, doğru akım üretenlerine de dinamo denir. Elde edilen AC (alternatif akım) ve DC (doğru akım) elektrik enerjisinin kaynağı ve çalışma mantığı aynıdır, sadece makinanın taslağı değişiktir. Şekil 3.30'da bir jeneratörün (alternatör) iç yapısı ve elemanları gösterilmiştir. Bir jeneratörü çalıştırmak için gerekli mekanik enerji, su türbini gibi ilk hareketi veren aletlerle sağlanır. Elektrik enerjisinin günümüzde büyük bir kısmı AC jeneratörleri (alternatörler) ile üretilir. Jeneratörler stator ve rotor olmak üzere iki temel elemandan meydana gelir. Jeneratörün sabit kısmına stator, dönen kısmına ise rotor denilir. Şekil 3.31.'de çıkıntılı kutuplu bir jeneratör rotoru görülmektedir.

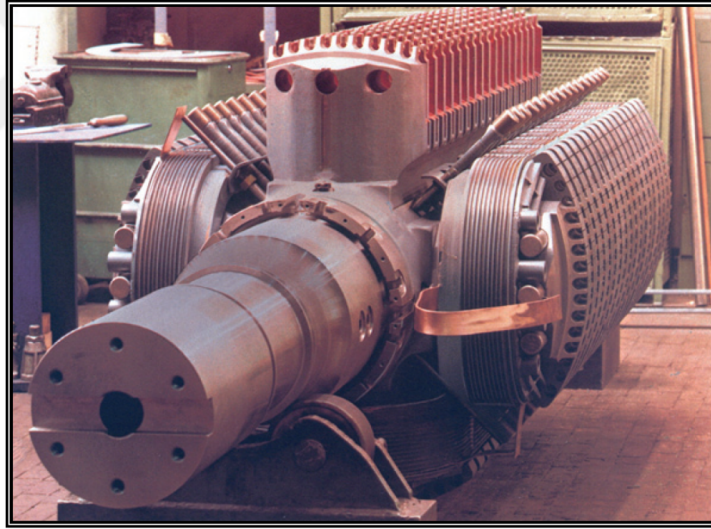


Şekil 3.29. Türbin ve jeneratör ünitesi

1890 başlarına kadar olan transformatörlerdeki ve jeneratör sistemlerindeki gelişmeler sonucunda Nikola Tesla alternatif akımın elektrik güç naklindeki kullanım avantajlarını ispat etti. Bunun sonucunda AC jeneratörlerini kullanan ilk büyük hidroelektrik santrali Niagara şelalesinde 1895'te açıldı.



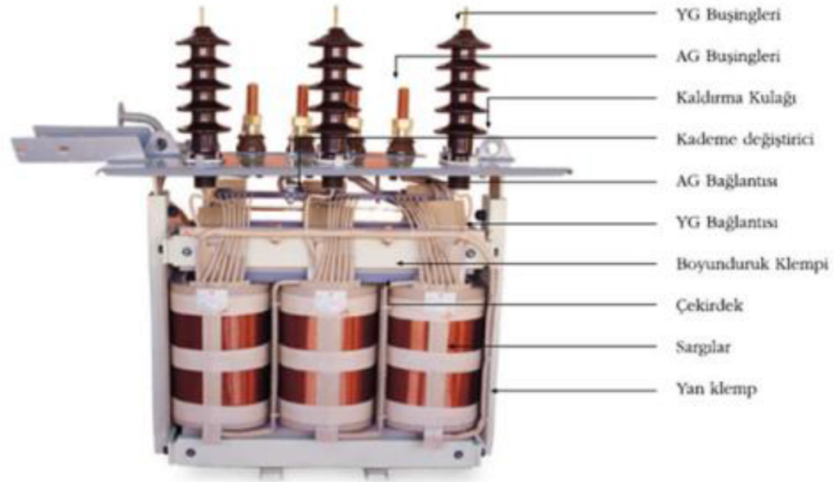
Şekil 3.30. Jeneratör (alternatör) iç yapısı ve elemanları.



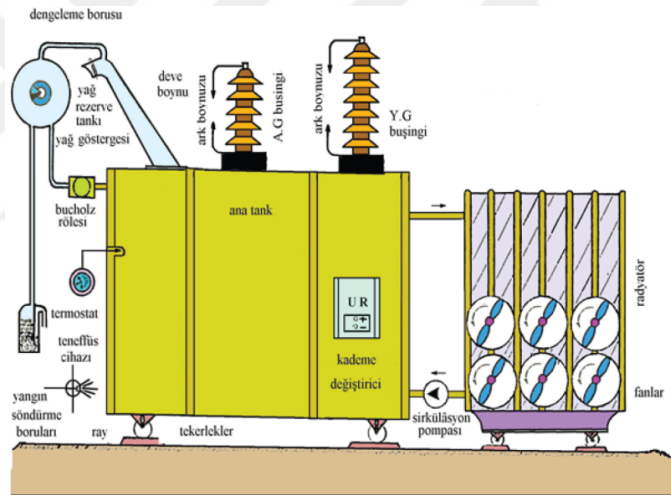
Şekil 3.31. Çıkıntılı kutuplu jeneratör rotoru.

3.9. Transformatör

Transformatörler, elektrik enerjisinin gerilim ve akım değerlerini frekansta değişiklik yapmadan değiştirebilen elektrik makinesidir. Alternatif voltajı kolaylıkla yükseltir ve alçaltır. Transformatörler gerilimi yükseltmek için kullanıldıkları gibi düşürmek için de kullanılır. Santral çıkışında yükseltici, tüketim merkezlerinde ise düşürücü olarak kullanılırlar. Elektrik enerjisinin, uzak mesafelere nakli için yüksek voltaj, dağıtım ve kullanım için düşük voltaj uygundur. Transformatörler bir diğer adıyla trafo olarak adlandırılabilir. Şekil 3.32. ve Şekil 3.33.'de transformatör iç yapısı ile yardımcı üniteleri gösterilmiştir.



Şekil 3.32. Güç transformatörü iç yapısı (MEB, 2011).



Şekil 3.33. Güç transformatörü ve yardımcı üniteleri.

3.10. Şalt Sahası

Şalt sahası kısaca elektrik enerjisini toplamaya veya dağıtmaya yarayan ünitelerin bulunduğu tesislerdir. Ayırıcılar, kesiciler, topraklama sistemi, koruma sistemi, transformatör ve yardımcı gereçlerin bir arada tesis edildiği yerlerdir. Şalt sahası üniteleri gerilimlerin büyüklüğü sebebiyle açık sahaya yerleştirilir. Şekil 3.34.'de bir şalt sahasının görünüşü verilmiştir. Şalt sahasları konstrüksiyon şekline göre 3 başlık altında toplanır. Bunlar;

- Cihaz tipi şalt sahası
- Kiriş tipi şalt sahası
- Toprak üstü şalt sahası



Şekil 3.34. Şalt sahası görünüşü.

3.11. Santral Binası

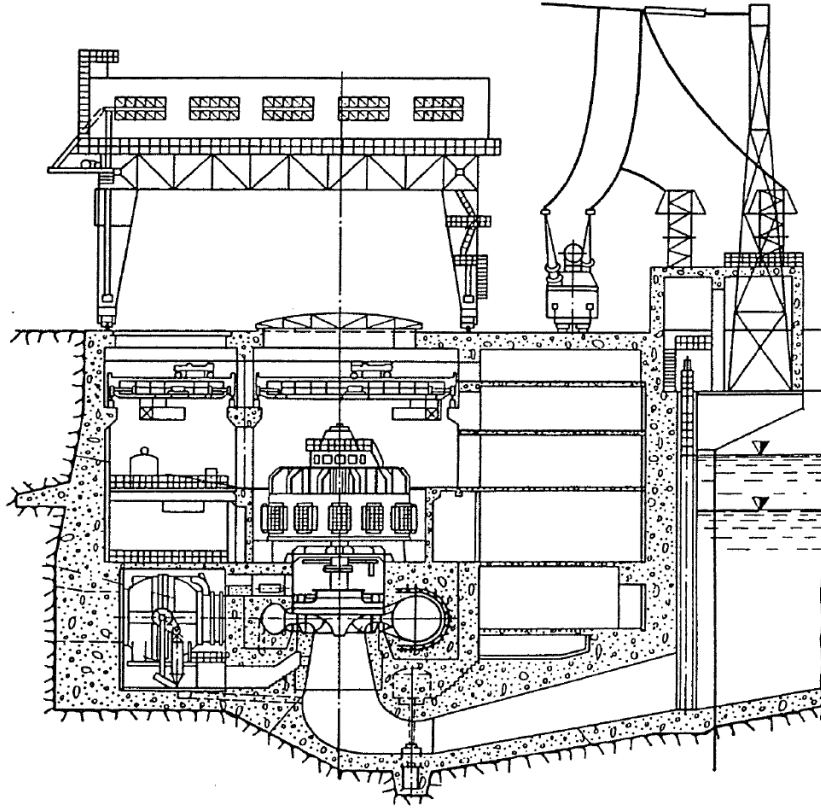
Santral binası türbinler ve jeneratörler vasıtasıyla elektrik üretiminin gerçekleştirildiği yer olarak tanımlanabilir. Santral binasının temel görevi jeneratör makinelerine ve türbinlere mesnet olmak ve bunlar ile bunların kontrol ünitelerinin bulunacağı kapalı alanı oluşturmaktır. Şekil 3.35.'de bir santral binası kesiti görülmektedir. Proje tasarım aşamasında santral binası boyutları ve vaziyet planı; alternatör, jeneratör, türbin tipi, eksen yerleşimi ve elemanların boyutlarına göre üreticisi olan firmalardan alınacak bilgilere göre teşkil edilebilir. Tüm bunlara ilave olarak servis yükleri altında statik ve dinamik olarak yapısal analiz yapılarak projelendirilmelidir. Şekil 3.36.'da bir santral binasının içi görülmektedir.

Hidroelektrik santrallerde iki ayrı türbin yerleştirme tipi ile karşılaşmaktadır.

- Yatay eksenli yerleştirilmiş
- Dikey eksenli yerleştirilmiş

Santral binası yapısal yerleşim durumuna göre üç temel şekilde aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

- Yer üstü santraller
- Yarı gömülü santraller
- Yeraltı santraller



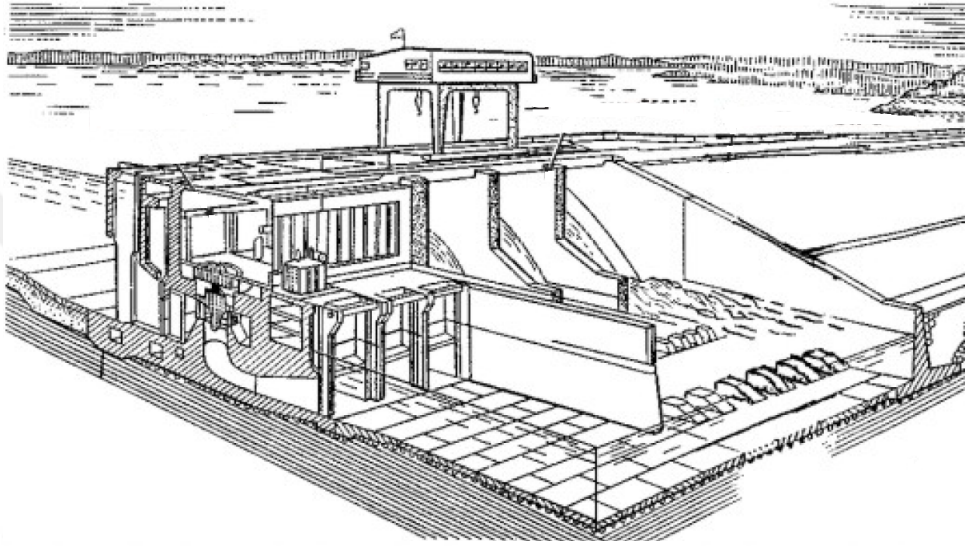
Şekil 3.35. Santral binası elemanları ve kesiti (Krivchenko 1993).



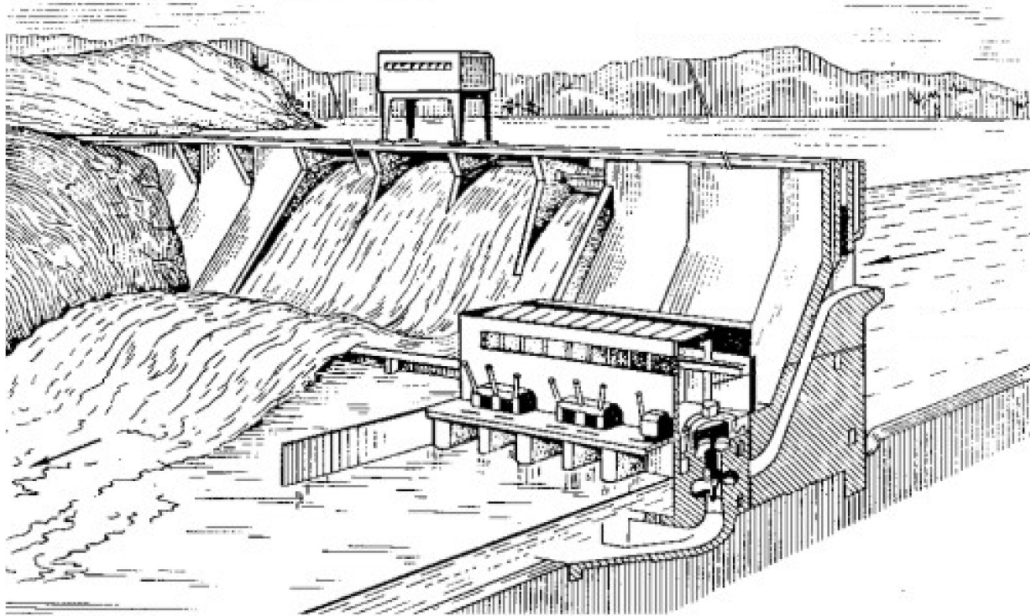
Şekil 3.36. Santral binası içinden bir görüntü.

3.12. Kuyruksuyu Yapısı

Kuyruksuyu kanalı/yapısı türbinden çıkan suyun güvenli bir şekilde tahliye edilerek boşaltma kanalına veya akarsuya ulaştırılmasını sağlayan elemandır. Görevi ve yapısı itibariyle santral binasının bir kısmı konumundadır. Şekil 3.37. ve Şekil 3.38.'de nehir ve depolamalı tip tesislerin kuyruksuyu yapısı görülmektedir.



Şekil 3.37. Nehir tipi bir tesisin kuyruksuyu yapısı.

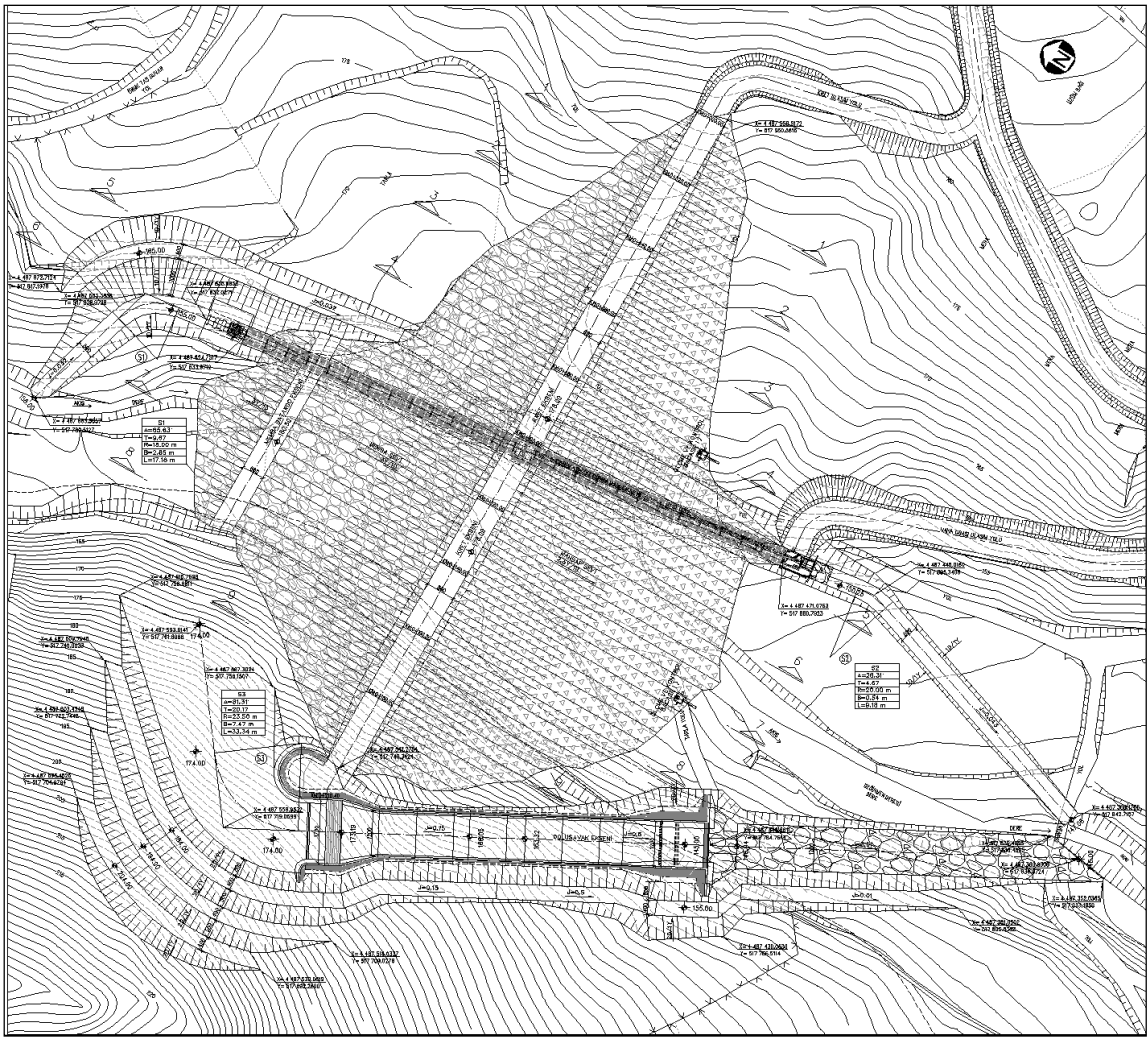


Şekil 3.38. Depolamalı bir tesisin kuyruksuyu yapısı.

4. TASARIMA ESAS SAHANIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ VE TANITILMASI

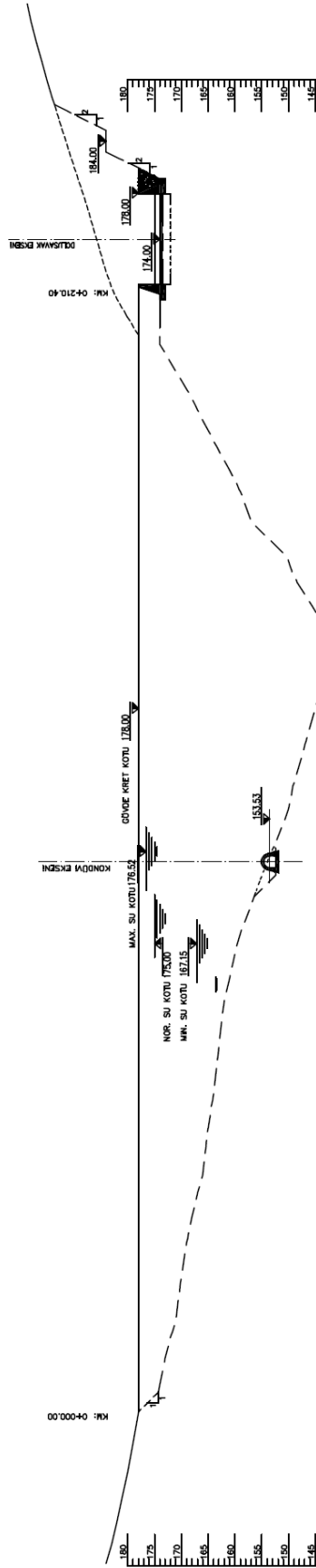
4.1. Çalışma Sahasının Tanıtılması

Turgutlu Göleti ile Pamukova ilçesi, Turgutlu, Bayrakçayşehir, Gökğöz köyleri ve Geyve ilçesine bağlı Düzakçayşehir köyüne ait brüt 98 ha alanda borulu sulama amaçlanmaktadır (DSİ, 2016a).

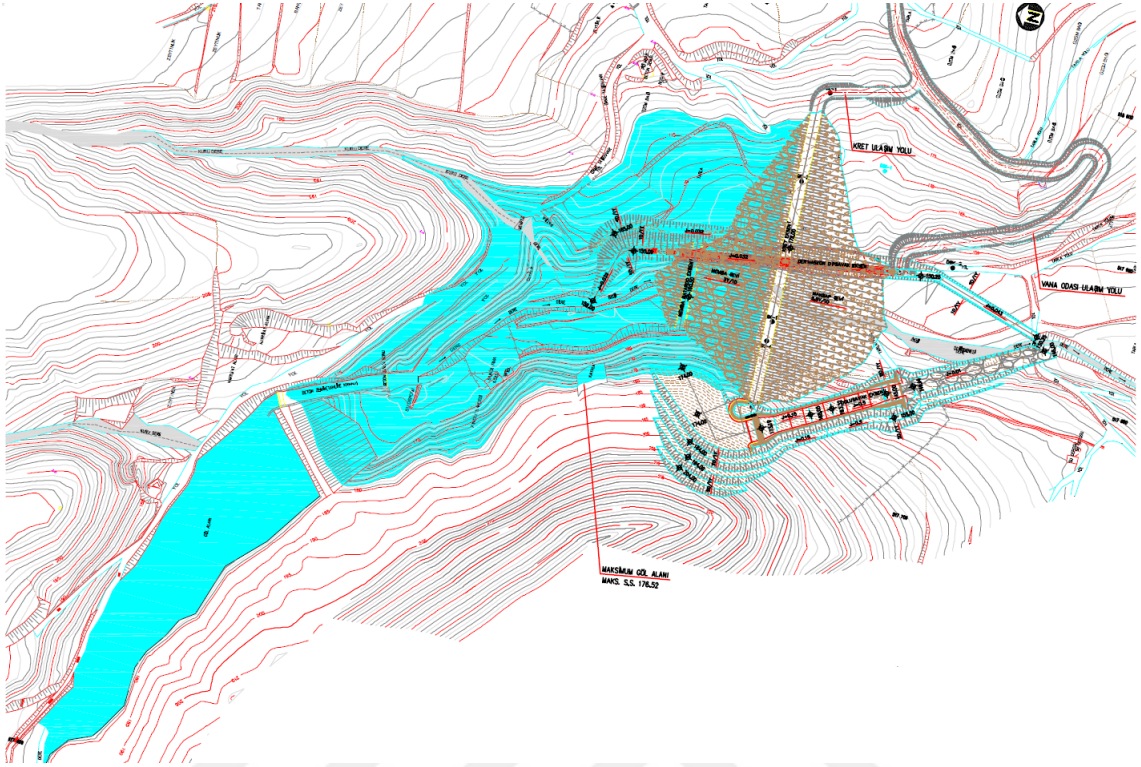


Şekil 4.1. Tasarıma esas sahanın gövde yerleşim planı (DSİ, 2016b).

Şekil 4.1., Şekil 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de tasarıma esas projenin gövde yerleşim planı, gövde maksimum enkesiti, vadi görünümü ve göl alanı görülmektedir.



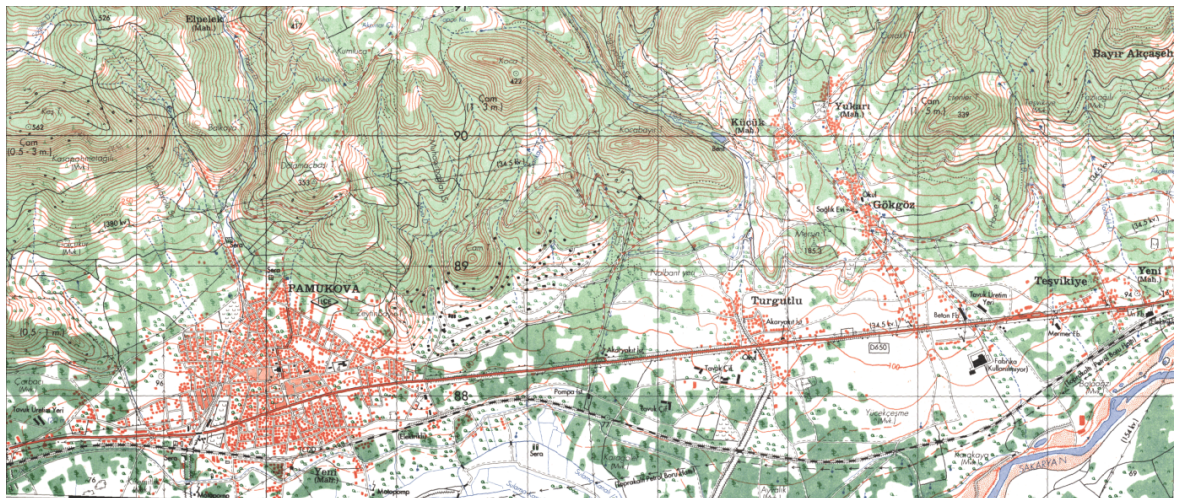
Şekil 4.3. Tasarıma esas sahanın membadan gölete bakışı (vadi görünümü) (DSİ, 2016b).



Şekil 4.4. Tasarıma esas saha içerisindeki göl alanı (DSİ, 2016b).

4.1.1. Coğrafi durum

Pamukova ilçesinin yüzölçümü 432 km²'dir. İlçe merkezi kendi adı ile anılan ovada 90 m rakımda kurulmuş, kuzeyi ve güneyi yüksek tepelerle çevrilidir. İlçeyi ovalar, vadiler, yaylalar ve dağlar ile dörde ayırmak mümkündür (Şekil 4.5.).

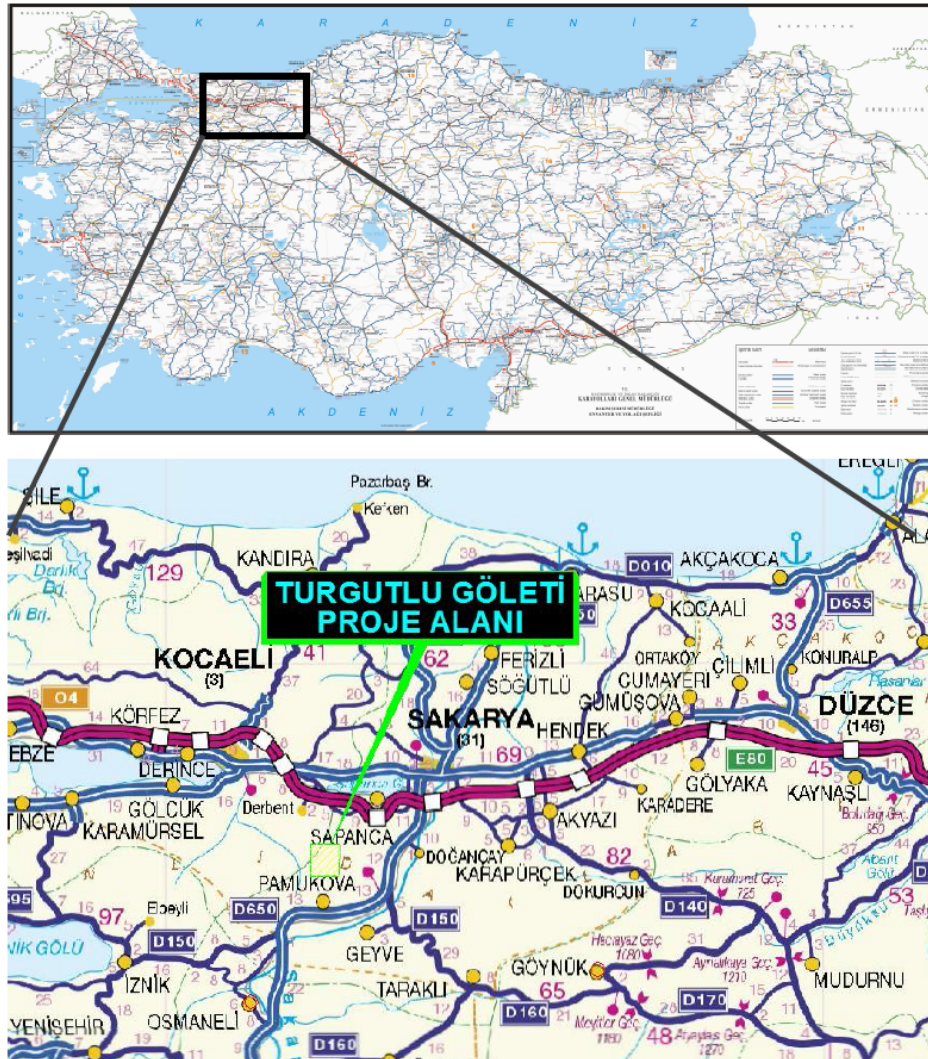


Şekil 4.5. Pamukova İlçesi ile tasarıma esas proje sahasının topoğrafik haritası (DSİ, 2016b).

Çalışma sahasının yeri ve ulaşımı

Turgutlu Göleti Sakarya Havzası'nda; Sakarya Nehri'nin yan kollarından biri olan Değirmen Dere üzerine planlanmaktadır. Proje yeri Sakarya ilinin Pamukova ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Turgutlu Göleti ve sulama alanı 1/25 000 ölçekli ADAPAZARI-G24-d3/G24-c4 paftaları içinde bulunmaktadır.

Turgutlu Göleti aks yeri, Turgutlu köyünün kuş uçuşu 1,15 km kuzeyinde yer almaktadır. Pamukova ilçesinden Turgutlu Göletine ulaşım Şekil 4.6.'da görüldüğü üzere şu şekilde sağlanır; Pamukova ilçesinden Adapazarı-Bilecik (D650) yolunu kullanarak doğu istikametinde Sakarya iline doğru 5,5 km devam edildiğinde varılan alt geçitten Gökgöz köyü yoluna gidilerek 1,5 km sonra köy merkezine ulaşılır. Köy merkezinden kuzey-batı istikametinde 1,5 km gidildiğinde aks yerine ulaşılır (DSİ, 2016a; DSİ, 2016b).



Şekil 4.6. Tasarıma esas proje sahasının yer bulduru haritası (DSİ, 2016b).

4.1.2. Genel jeolojik durum

Proje alanı ve çevresi, Prekambriyen Paleozoik, Mesozoik ve Senozoyik yaşı jeolojik birimler görülmektedir. Stratigrafik temeli, Prekambriyen yaşı metagranitoyitleri oluşturur. Bu birimin üzerine paleozoik yaşı mermerler uyumsuz olarak gelir. Üst kretase yaşı granitlerin yer yer bu birimlerin kestiği gözlemlenmektedir. Proje alanında Kuvaterner yaşı genç çökelleri, taraça, alüvyon, yamaç molozu ve alüvyon yelpazesi oluşturmakta olup; kendinden yaşı jeolojik birimle uyumsuz olarak örtüşmüşlerdir (DSİ, 2016a; DSİ, 2016b).

Stratigrafik jeoloji

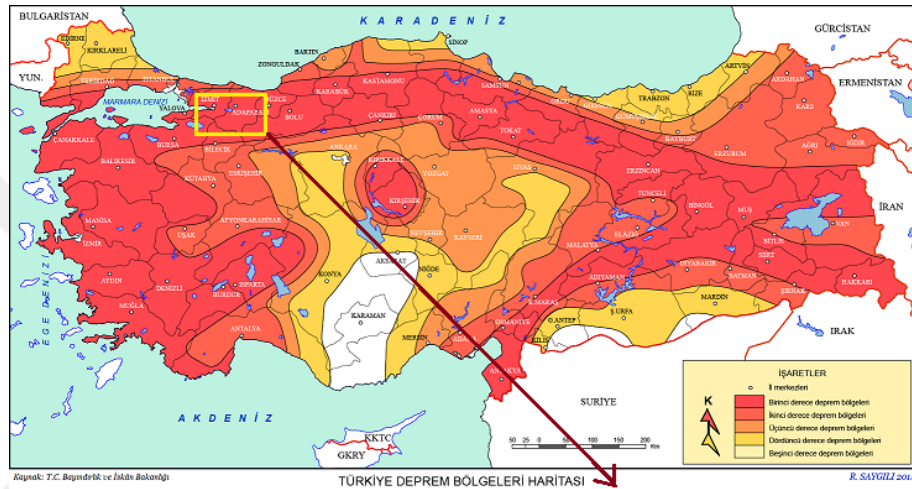
Bölgenin jeolojisi değişik zamanlarda MTA Genel Müdürlüğü tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmada MTA tarafından hazırlanan 1/25 000 ve 1/100 000 ölçekli jeolojik paftalar ile bu çalışmalara ait raporlar referans alınmıştır. Mevcut verilere göre proje alanındaki birimlerin stratigrafik istifi yaşlıdan gence doğru Şekil 4.7.'deki gibidir (DSİ, 2016a; DSİ, 2016b).

ÖST SİSTEM	SİSTEM	FORMASYON ADI	FORMASYON SİMGESİ	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMA	DOKANAK İLİŞKİSİ
SENOZOYİK	KUVATERNER	HOLESEN	YAMAÇ MÖLÖZÜ ALÜVYON	Qym Qal	Qym: Yamaç Molozu Qal : Alüvyon	UYUMSUZLUK
		ALÜVYON YELPAZESİ	Qym+Bk	Qym+Bk : Alüvyon Yalpazesi		
	PLEİSTOSEN	TERAS	Qtr	Qtr : Teras		
	EOSEN	ALT	KTab	KTab : Olistonrom, Kireçtaşı Granit, Serpantin		
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST	ABANT FORMASYONU PAZIRKÖYÜ METAMORFİZLERİ	KPm	KPm : Meta kumtaşı Meta çalılıktaşı Meta pelit Meta volkanit	UYUMSUZLUK
	TRİYAS	İZNİK METAMORFİZLERİ	PTim	PTim : Mermer, Şist	UYUMSUZLUK	
PALEOZOYİK	PERMIYEN	İZNİK METAMORFİZLERİ	PTim	PTim : Mermer, Şist	UYUMSUZLUK	
	ORDOVİSYEN	SOPALI FORMASYONU	Os	Os : Kumtaşı (yer yer orkozik kumtaşı)	UYUMSUZLUK	
PREKAMBRIYEN	PROTEROZOYİK	GÖKGÖZ METAGRANİTOYİDİ	PGm	PGm : Metagranitoyit	UYUMSUZLUK	

Şekil 4.7. Tasarıma esas proje sahası ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (ölçeksiz) (DSİ, 2016b).

Deprem durumu

Proje alanı; T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi tarafından hazırlanan Şekil 4.8. 'deki Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre proje alanı 1. derece deprem bölgesi sınırları içerisinde kalmaktadır (DSİ, 2016a; DSİ, 2016b).



Şekil 4.8. Tasarıma esas sahanın ve civarının deprem bölgeleri haritasındaki yeri (DSİ, 2016b).

Hidrojeoloji

Pamukova ve çevresi için en önemli su kaynağı Sakarya nehridir. Bölgede çok sayıda çay ve dere bulunmaktadır. Çalışma alanındaki yapı yerlerinde yapılan sondajların tamamlanmasını takiben her iki yamaçtan dereye doğru yeraltı su seviyesinde (YASS) bir düşüşün olduğu gözlemlenmektedir. Bu da beslenmenin her iki yamaçtan dereye doğru olduğunu göstermektedir (DSİ, 2016a; DSİ, 2016b).

Çizelge 4.1. Tasarıma esas proje sahasında açılan sondajların bilgileri (DSİ, 2016b).

SONDAJ YERİ	DERİNLİK (m)	SONDAJ YERİ	SONDAJ KOTU (m)	YASS		AÇIKLAMA
				Derinlik (m)	Kot (m)	
SK-1	40	Gölet Aks Yeri, Sol Yaka	179.60	6.80	172.80	Gökgöz Metagranitoyiti
SK-2	30	Gölet Aks Yeri, Sol Yaka	168.70	5.90	162.80	Gökgöz Metagranitoyiti
SK-3	30	Gölet Aks Yeri, Talveg	151.45	0.80	150.65	Alüvyon + Gökgöz Metagranitoyiti
SK-4	30	Gölet Aks Yeri, Talveg	155.30	5.35	149.95	Yamaç Molozu + Gökgöz Metagranitoyiti
SK-5	40	Gölet Aks Yeri, Sağ Yaka	179.20	10.40	168.80	Gökgöz Metagranitoyiti
SK-6	15	Gölet Aks Yeri, Talveg	154.30	3.85	150.45	Alüvyon + Gökgöz Metagranitoyiti
BSK-1	15	Batardo	156.00	3.30	152.70	Alüvyon + Gökgöz Metagranitoyiti
DSK-1	15	Dolusavak	169.30	6.70	162.60	Gökgöz Metagranitoyiti
DSK-2	15	Dofusavak	151.75	4.90	146.85	Alüvyon + Gökgöz Metagranitoyiti
KSK-2	15	Derivasyon Kondüvisi	156.00	4.40	151.60	Yamaç Molozu + Gökgöz Metagranitoyiti

4.1.3. Sosyal durum

Sakarya'daki göçlerin bir kısmı ise güncel mevsimlik iç göç olayıdır. Çoğunlukla fındık tarımının yapıldığı Karasu, Kocaali, Akyazı ve Hendek gibi ilçeler bu göçe muhataptır. Mevsimlik tarım işçilerinin çoğunluğu Güneydoğu Anadolu dan fındık hasadında çalışmaya gelmektedir.

Yerleşme amaçlı güncel göçlerden de Sakarya kendine düşen payı almaktadır. 1950'lerde başlayan iç göç, doğudan batıya, iç bölgelerden kıyılara doğrudur. Sakarya'da gelişen sanayisi ve verimli topraklarıyla göçmen çekmektedir (DSİ, 2016a; DSİ, 2016b).

4.1.4. Ekonomik durum

Köyün ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayalıdır. Sakarya il topraklarının % 50'si tarım alanı, % 42'si orman ve fundalık, % 2'si çayır-mera ve % 6'sı tarım dışı alandır. İlde % 50'lik tarım arazilerinin kullanımı şu şekilde gerçekleşmektedir. Tarla arazisi % 43,3 fındıklık % 28,2 kavak % 4,3 sebze bahçesi % 3,4 meyve bahçesi % 2,8 bağ % 1,6 zeytin % 0,2 diğerleri % 17,3'dür. Tarım faaliyet kolunda il ekonomisine % 51 ile hayvansal üretimin katkısı en fazladır. Meyve üretimi % 29,2 tarla bitkileri % 13,6 sebze üretimi % 5,9 ve su ürünleri % 0,3 oranında tarımsal ekonomiyi oluşturur.

Türkiye'de tarımın GSMH'ye katkısı % 8,1 iken, Sakarya'da bu oran % 17 ile oldukça yüksektir. İl topraklarında güney ilçelerde sebze-meyve, orta kesimlerde mısır gibi tarla üretimi ve sebzeçilik, kuzey ilçelerde fındıklık yaygındır (DSİ, 2016a; DSİ, 2016b).

4.1.5. İklim

Proje sahasında, Sakarya ilinin Karadeniz kıyılarında Karadeniz iklimi, güney kısmında Marmara tipi Akdeniz iklimi etkilidir. Bölge rutubetli bir havaya ve ılıman bir iklime sahiptir. Kuzeyde fındık yetiştirilirken, güney ilçelerinde bir kısmı zeytin bahçesi olan meyve bahçeleri yaygın olması bunun göstergesidir. İl merkezinin güneyinde yer alan Samanlı dağları ve Keremali dağları Karadeniz iklim etkisinin güneye ulaşmasına engel olmaktadır. İlin güney bölümüne İznik Gölü yönünden Akdeniz hava kütleleri ulaşmaktadır. Yağış Kuzeyden güneye doğru azalmakta ve Karasu'da 1000 mm, merkezde 840 mm, Geyve'de 600 mm'ye düşmektedir. Hakim rüzgar yönü KKB'dır. Bağıl nem ortalaması % 72'dir. Yıllık sıcaklık ortalaması 14,2 °C'dir. Yağışın mevsimlere dağılışı; % 31 kış, % 26 sonbahar, % 22 ilkbahar, % 21 yaz ayları şeklindedir. Bu dağılım Karadeniz yağış rejiminin özelliklerini yansıtır. Yağışın % 95,9'u normal, % 3,7'si sağanak şeklindedir. Yılın 133 günü yağışlıdır (DSİ, 2016a; DSİ, 2016b).

Yağış

Turgutlu Göleti Havzasının ortalama yıllık toplam yağışı 512,40 mm olarak hesaplanmıştır (DSİ, 2016a).

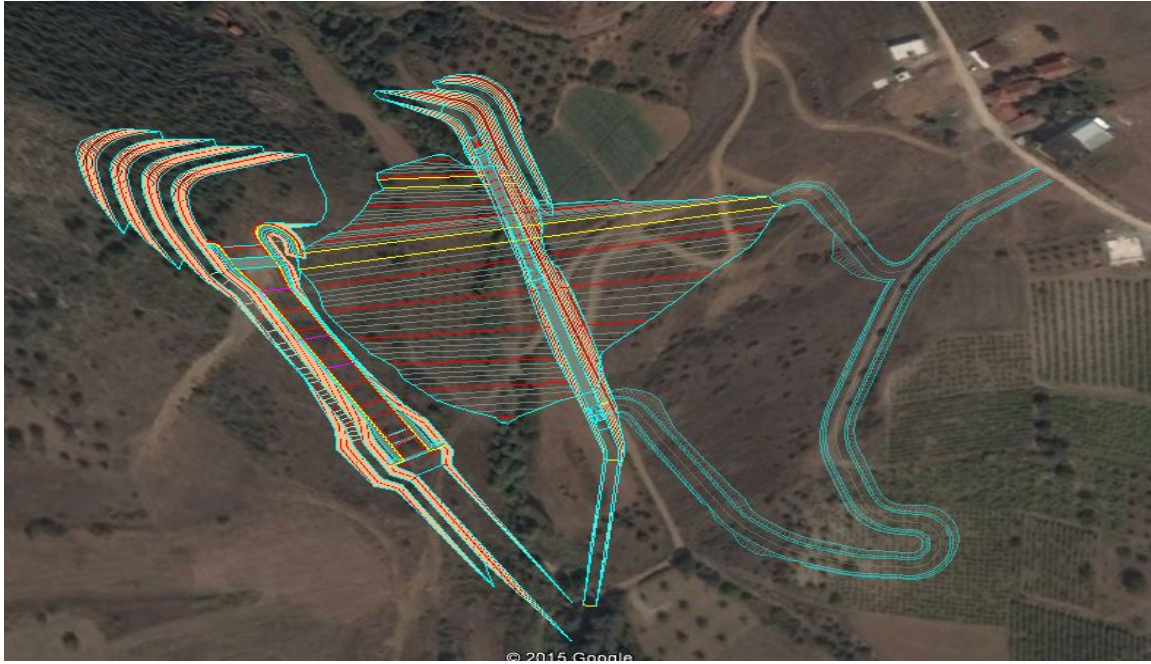
Buharlaşma

Turgutlu Göleti normal su seviyesi olan yıllık toplam net buharlaşma 337,30 mm olarak bulunmuştur (DSİ, 2016a).

4.2. Tasarıma Esas Sahanın Karakteristik Bilgilerinin Tanıtılması

DSİ tarafından sulama göleti projesi olarak ihaleye çıkılarak yapımı devam eden sahanın karakteristik özellikleri analiz edilmiştir.

4.2.1. Saha karakteristikleri



Şekil 4.9. Tasarıma esas sahanın mevcut arazi üzerinde gösterimi (DSİ, 2016b).

Turgutlu Göleti "Kil Çekirdekli Kum Çakıl Dolgu" gövde tipinde tasarlanmıştır. (DSİ, 2016a; DSİ, 2016b). Tasarıma esas projenin karakteristik bilgileri aşağıda verilmiştir.

Gövde Proje Karakteristikleri

Tipi	:	Kil Çekirdekli Kum Çakıl Dolgu
Amacı	:	Sulama
Talveg Kotu	:	152,00 m
Kret Kotu	:	178,00 m
Talvegden Yüksekliği	:	26,00 m
Temelden Yüksekliği	:	27,00 m
Kret Genişliği	:	8,00 m
Kret Uzunluğu	:	210,40 m
Memba ve Mansap Şevleri	:	3/1 – 2,5/1 (Y/D)

Memba Batardosu Karakteristikleri

Kret Kotu	:	160,50 m
Talvegden Yüksekliği	:	7,54 m
Temelden Yüksekliği	:	8,54 m
Kret Genişliği	:	6,00 m
Kret Uzunluğu	:	60,00 m
Memba ve Mansap Şevleri	:	3/1 – 2,5/1 (Y/D)

Dolgu Hacmi Karakteristikleri

Gövde	:	200 306,30 m ³
Batardo	:	6 886,0 m ³
Toplam Dolgu Hacmi	:	207 192,31 m ³

Göl Karakteristikleri

Aktif Hacim	:	0,220 hm ³
Maksimum Su Seviyesi	:	176,52 m
Maksimum Göl Hacmi	:	0,383 hm ³
Maksimum Göl Alanı	:	0,043 km ²
Normal Su Seviyesi	:	175,00 m
Normal Göl Hacmi	:	0,321 hm ³
Normal Göl Alanı	:	0,038 km ²
Minimum Su Seviyesi	:	167,15 m
Minimum Göl Alanı	:	0,019 km ²

Derivasyon –Dipsavak Yapısı Karakteristikleri

Yeri	:	Sol Sahil
Tipi	:	Kondüvi; çap 2,20 m
Derivasyon Uzunluğu	:	167,30 m
Derivasyon Kapasitesi(Q ₂₅)	:	11,76 m ³ /s
Dipsavak Çapı	:	0,50 m
Dipsavak Uzunluğu	:	72,63 m
Derivasyon Kondüvisi Giriş Kotu	:	155,00 m
Derivasyon Kondüvisi Çıkış Kotu	:	150,00 m
Kondüvi Eğimi	:	0,032

Dolusavak Proje Karakteristikleri

Yeri	:	Sağ Sahil
Tipi	:	Karşıdan Alışlı, Kontrolsüz
Kret Uzunluğu	:	17,00 m
Dolusavak Taşkın Debisi (Q 10 000)	:	67,17m ³ /s
Dolusavak Tasarım Debisi	:	67,17m ³ /s
Kret Kotu (Eşik Kotu)	:	175,00 m
Yaklaşım Kanalı Taban Kotu	:	174,00 m
Eşik Yüksekliği	:	1,00 m
Eşik Eğimi	:	90 °
Boşaltım Kanalı Genişliği	:	12,00 m
Boşaltım Kanalı uzunluğu	:	86,27 m
Enerji Kırıcı Havuz Genişliği	:	12,00 m
Enerji Kırıcı Havuz Taban kotu	:	145,00 m

Hidrolojik Veriler

Yağış Alanı	:	20,20 km ²
Yıllık Ortalama Yağış Yüksekliği	:	512,40 mm
Yıllık Ortalama Akım	:	1,193 hm ³
Yıllık Net Buharlaşma	:	337,30 mm
Sulamaya Verilecek Yıllık Su	:	0,306hm ³ /yıl

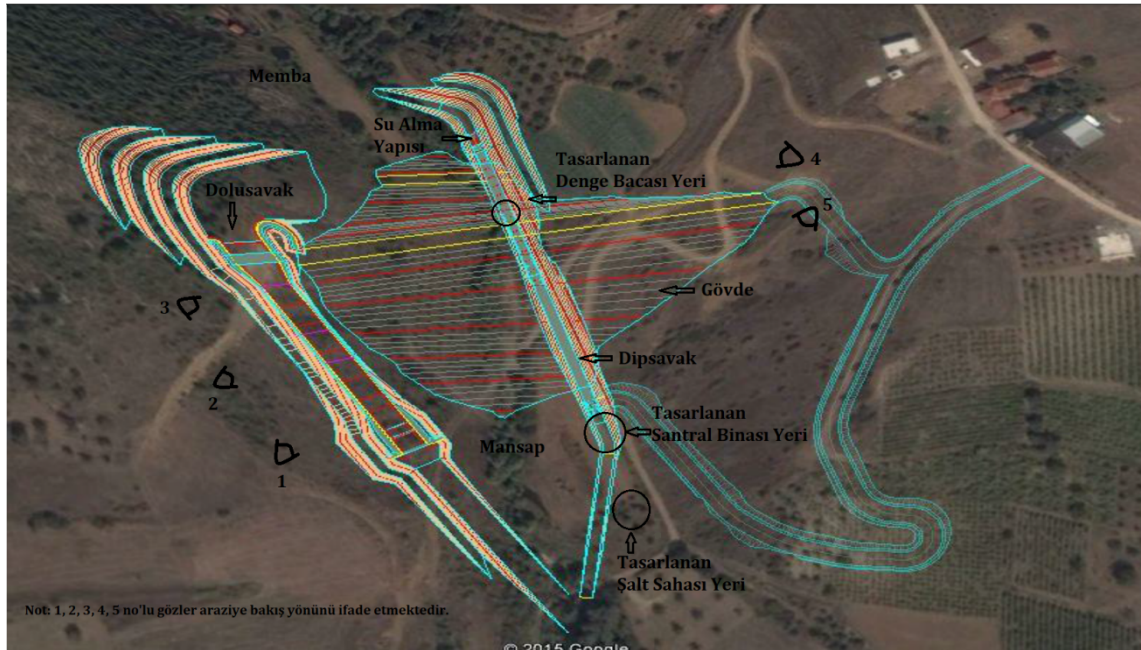
(DSİ, 2016a; DSİ, 2016b).

5. MEVCUT SAHANIN ORTA ÖLÇEKLİ HİDROELEKTRİK SANTRALE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE ELEKTRİK ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışma kapsamında DSİ tarafından yapım işi ihale edilen ve inşaatı devam etmekte olan Pamukova Turgutlu Göleti mevcut projesinin HES olarak tasarlanması ve projelendirilmesi için gerekli olan yapı ve elemanları analiz edilerek, ilgili ekipmanlar;

- Denge bacası
- Türbin
- Jeneratör
- Transformator ve şalt sahası
- Santral binası
- Kuyruksuyu yapısı olarak belirlenmiştir.

Bu sıralamada projedeki mevcutlar korunmuş olup, sadece ilave yapılabilecekler incelenmiş ve ilgili mühendislik hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken birden çok ihtimaller üzerinde durularak gerekli karşılaştırmalar sonucunda optimum olan seçim sorgulanmıştır. Tasarlanan ve mevcut elemanların halihazır durumu Şekil 5.1.de görülmektedir.



Şekil 5.1. Tasarıma esas projede sahasındaki ilave ve mevcut elemanların halihazır durumu.

Çalışma kapsamında ele alınan sahanın detaylı görünümü Şekil 5.2., Şekil 5.3., Şekil 5.4., Şekil 5.5. ve Şekil 5.6.'da verilmiştir.



Şekil 5.2. Proje sahasının Şekil 5.1.'deki 1 no'lu gözden görünüşü.



Şekil 5.3. Proje sahasının Şekil 5.1.'deki 2 no'lu gözden görünüşü.



Şekil 5.4. Proje sahasının Şekil 5.1.'deki 3 no'lu gözden görünüşü.



Şekil 5.5. Proje sahasının Şekil 5.1.'deki 4 no'lu gözden görünüşü.



Şekil 5.6. Proje sahasının Şekil 5.1.'deki 5 no'lu gözden görünüşü.

5.1. Türbin Tasarım Hesapları

Türbin tasarım hesapları aşağıdaki konu başlıkları ele alınarak yapılacaktır.

- Santralde elde edilecek güç hesabı,
- Türbin özgül hızı ve devir sayısı,
- Türbin mil çapı,
- Türbin göbek çapı,
- Türbin çarkının boyutları,
- Türbin çarkının kanatlarındaki hız bileşenleri,
- Türbin çarkının kanat sayısı,
- Türbin salyangoz boyutları,
- Türbin emme borusu boyutları,
- Kavitasyon oluşturmayacak türbin eksen kotunun bulunması.

Maksimum işletme debisi :

Göletin sulama debisi hesap raporlarından alınmış olup, $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir (DSİ, 2016b).

Proje brüt düşüsü :

Normal su seviyesi kotu ile kuyuksuyu seviyesi kotu arasındaki mesafe olup,

$$H_0 = 175 - 150,75 = 24,25 \text{ m'dir.}$$

Boru, vana ve diğer yersel tüm kayıplar toplam düşünün %5 i olarak kabul edilmiştir.

$$\sum h_k = 24,25 \times 0,05 = 1,2 \text{ m olarak hesaplanmıştır.}$$

Enerji üretimine esas tasarım net düşüsü :

$$H_N = 24,25 - 1,2 = 23 \text{ m olarak hesaplanmıştır.}$$

Tasarıma esas kabul edilen türbin verim değerleri :

Kaçak verimi (η_v), türbin içindeki kaçaklar sebebiyle enerji alışverişine katılmayan sudan dolayı göz önüne alınması gereken verim olarak ifade edilebilir. Hesaplamalarda $\eta_v = 0,98$ olarak kabul edilmiştir.

Hidrolik verim (η_h), suyun akışıyla ilgili çarpma, sürekli ve yerel yük kayıplarından dolayı göz önüne alınması gereken verim olarak ifade edilebilir. Hesaplamalarda $\eta_h = 0,93$ olarak kabul edilmiştir.

Mekanik verim (η_m), türbin yataklarında ve diğer mekanik parçalarda sürtünmeden dolayı göz önüne alınması gereken verim olarak ifade edilebilir. Hesaplamalarda $\eta_m = 0,99$ olarak kabul edilmiştir.

Genel verim (η_t), yukarıda bahsedilen verimlerin çarpılmasıyla Eşitlik (5.1.)'den elde edilebilir.

$$\eta_t = \eta_v \cdot \eta_h \cdot \eta_m \quad (5.1.)$$

$$\eta_t = 0,98 \times 0,93 \times 0,99 \quad \text{ise}$$

$$\eta_t = 0,9 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

5.1.1. Santralde elde edilecek güç hesabı

$$P_t = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_N \cdot \eta_t \quad (\text{Watt}) \quad (5.2.)$$

P_t : Türbinden elde edilen mekanik güç (Watt)

ρ : Suyun özgül kütlesi (1000 kg/m³)

g : Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s²)

Q : Debi (m³/s)

H_N : Net düşü yüksekliği (m)

η_t : Türbin genel verimi (Gulliver and Arndt, 1991; Bulu, 2011).

Eşitlik (5.2.)'den;

$$P_t = 1000 \times 9,81 \times 10 \times 23 \times 0,9 \text{ ise}$$

$P_t = 2030670 \text{ W}$ bulunur. Santralin kurulu gücü $P_t = 2 \text{ MW}$ olarak hesaplanmıştır.

5.1.2. Türbin özgül hızı ve devir sayısı

Türbin özgül hızı iki şekilde açıklanabilir;

Birincisi 1m net düşüde en iyi verimle çalışırken, debisi 1m³/s olan makinanın devir sayısı olarak ifade edilir ve n_q ile gösterilir (Schweiger and Gregori, 1985; Glassman, 1994).

$$n_q = n \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H_N^{3/4}} \quad (\text{dev/dk}) \quad (5.3.)$$

İkincisi ise 1m net düşüde en iyi verimle çalışırken, 1BG güç veren makinanın devir sayısı olarak ifade edilir ve n_s ile gösterilir (Pfau, 1943).

$$n_s = n \cdot \frac{\sqrt{P_t}}{H_N^{5/4}} \quad (\text{dev/dk}) \quad (5.4.)$$

n_s ile n_q arasındaki eşitlik aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$n_s = 3,65 \cdot n_q \cdot \sqrt{\eta_t} \quad (5.5.)$$

Yapılan çeşitli korelasyon analizleri sonucu özgül hızlarla alakalı olarak aşağıdaki eşitlikler yazılabilir (ESHA, 2004).

$$\text{Francis} \quad n_s = \frac{1914}{H_N^{0,512}} \quad (\text{Lugaresi ve Massa}) \quad (5.6.)$$

$$\text{Kaplan} \quad n_s = \frac{2283}{H_N^{0,486}} \quad (\text{Schweiger ve Gregory}) \quad (5.7.)$$

$$\text{Uskur} \quad n_s = \frac{2702}{H_N^{0,5}} \quad (\text{USBR}) \quad (5.8.)$$

Özgül hız belirlendikten sonra yukarıdaki bağıntılar yardımıyla türbinin devir sayısı n hesaplanabilir.

5.1.3. Türbin mil çapı

Türbin mil çapı aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir (Akkurt, 2005).

$$d_m = 14,4 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_t}{n}} \quad (\text{dev/dk}) \quad (5.9.)$$

d_m : Mil çapı (cm)

P_t : İletilen güç (kW)

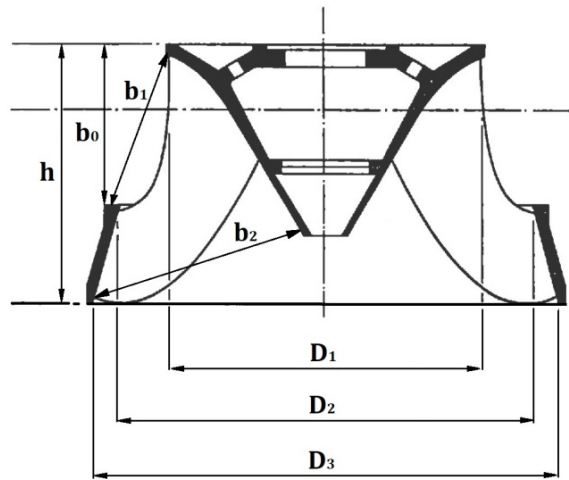
n : Dönme hızı (dev/dk)

5.1.4. Türbin göbek çapı

$$d_g = (1,5 \sim 2) d_m \quad \text{alınabilir (Akkurt, 2005).} \quad (5.10.)$$

5.1.5. Türbin çarkının boyutları

Francis Türbin çarkı giriş ve çıkış çapı hesaplamaları için aşağıda önerilen bağıntılar kullanılacaktır (ESHA, 2004; de Siervo, de Leva, 1976).



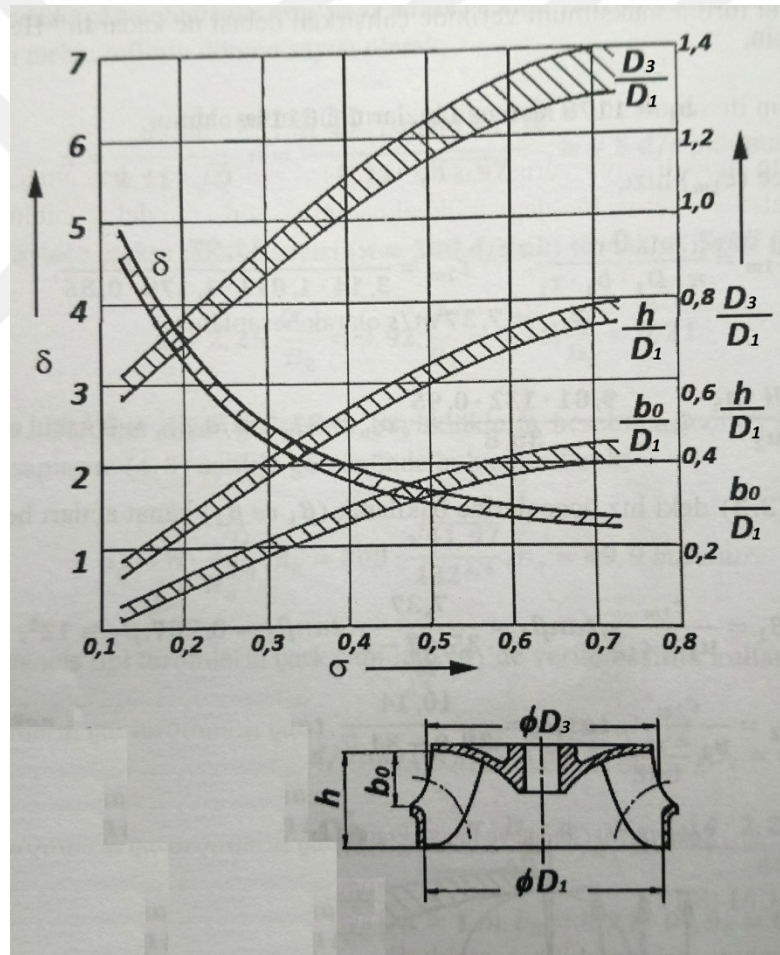
Şekil 5.7. Francis türbin çarkı boyutları (de Siervo, de Leva, 1976).

$$D_3 = 84,5 \cdot \left(0,31 + 2,488 \cdot \frac{n_s}{995} \right) \cdot \frac{\sqrt{H_N}}{n} \quad (5.11.)$$

$$D_1 = \left(0,4 + \frac{0,095 \times 995}{n_s} \right) \cdot D_3 \quad (5.12.)$$

$$D_2 = \frac{D_3}{0,96 + \frac{0,3781 \cdot n_s}{995}} \quad (5.13.)$$

Francis türbin çarkı su giriş ve çıkış ağız boyutları, hızlilik katsayısına bağlı olarak Şekil 5.8. deki abak yardımıyla hesaplanacaktır.

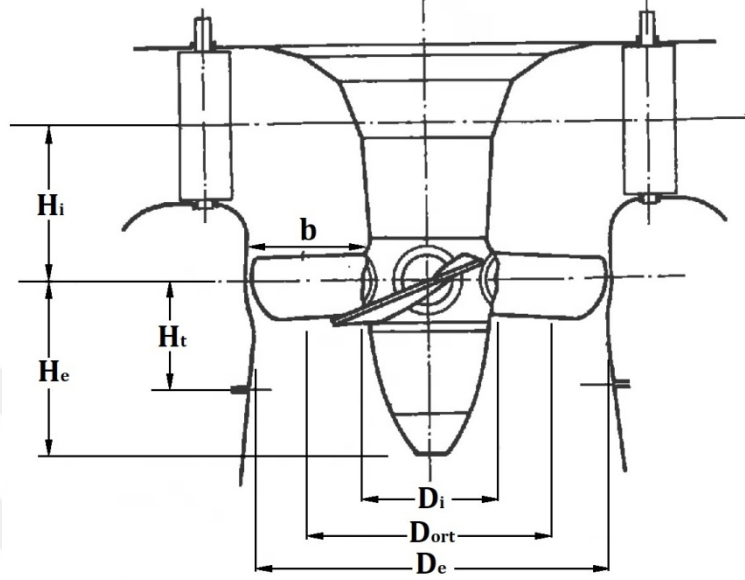


Şekil 5.8. Hızlilik katsayısına bağlı olarak Francis türbin çarkı boyutlarının değişimi (Çallı, 2017).

$$\sigma = 2,11 \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{60 \cdot (H_N \cdot g)^{3/4}} \quad (5.14.)$$

σ : Hızlilik katsayısı

Kaplan ve Uskur Türbin çarkı giriş ve çıkış çapı hesaplamaları için aşağıda önerilen bağıntılar kullanılacaktır (ESHA, 2004; de Siervo, de Leva, 1977).



Şekil 5.9. Kaplan ve Uskur türbin çarkı boyutları (de Siervo, de Leva, 1977).

$$D_e = 84,5 \cdot \left(0,79 + 1,602 \cdot \frac{n_s}{995} \right) \cdot \frac{\sqrt{H_N}}{n} \quad (5.15.)$$

$$D_i = \left(0,25 + \frac{0,0951 \times 995}{n_s} \right) \cdot D_e \quad (5.16.)$$

$$H_e = \left(\frac{6,94}{n_s^{0,403}} \right) \cdot D_e \quad (5.17.)$$

$$H_i = \left(0,38 + \frac{5,17 \cdot n_s}{10^5} \right) \cdot D_e \quad (5.18.)$$

$$H_t = \left(0,24 + \frac{7,82 \cdot n_s}{10^5} \right) \cdot D_e \quad (5.19.)$$

5.1.6. Türbin çarkının kanatlarındaki hız bileşenleri

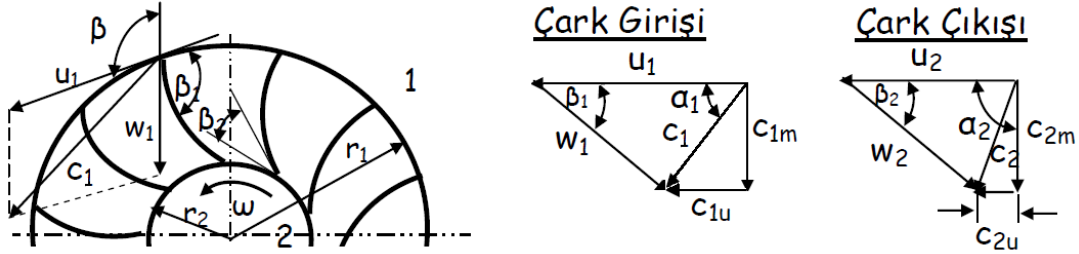
$$\vec{c} = \vec{u} + \vec{w} \quad \text{ise}$$

\vec{c} : Mutlak hız

\vec{u} : Çevresel hız

\vec{w} : Bağlı hız olmak üzere,

Francis türbin çarkı için hız bileşenleri aşağıdaki bağıntılardan hesaplanacaktır (Özgür, 1972; Pancar, 2007; Çallı, 2017).



Şekil 5.10. Francis türbin çarkı giriş ve çıkış hız üçgenleri.

Francis türbin çarkı giriş hız üçgenine göre hesaplamalar için aşağıdaki bağıntılar kullanılacaktır.

$$u_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60} \quad (5.20.)$$

$$c_{1m} = \frac{Q_g}{\pi \cdot D_1 \cdot b_1} \quad (5.21.)$$

$$H_N = \frac{1}{\eta_h} \cdot \left(\frac{u_1 \cdot c_{1u} - u_2 \cdot c_{2u}}{g} \right) \quad (5.22.)$$

$$\tan \beta_1 = \frac{c_{1m}}{u_1 - c_{1u}} \quad (5.23.)$$

Francis türbin çarkı çıkış hız üçgenine göre hesaplamalar için ise aşağıdaki bağıntılar kullanılacaktır.

$$u_2 = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n}{60} \quad (5.24.)$$

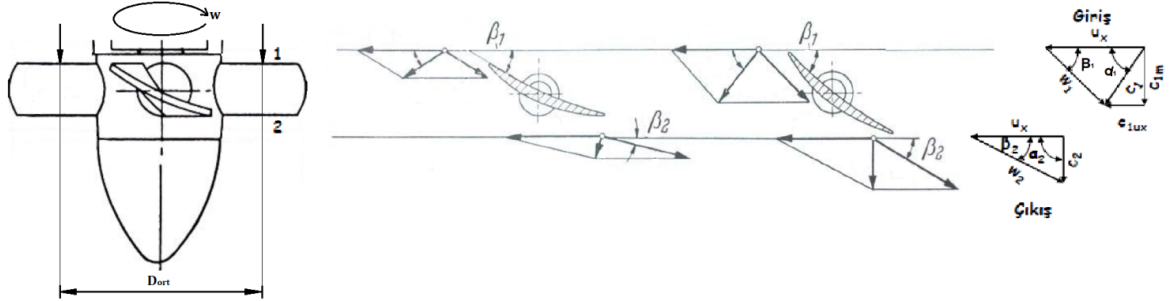
$$c_{2m} = \frac{Q_\varphi}{\pi \cdot D_3 \cdot b_2} \quad (5.25.)$$

$$\tan \beta_2 = \frac{c_{2m}}{u_2 - c_{2u}} \quad (5.26.)$$

$$Q_\varphi = \eta_v \cdot Q_g \quad (5.27.)$$

Suyun çarktan aksel çıktığı kabul edilerek $c_{2u} = 0$ olarak alınabilir. Bu durumda $c_{2m} = c_2$ olur.

Kaplan ve Uskur türbin çarkı için hız bileşenleri aşağıdaki bağıntılardan hesaplanacaktır (Özgür, 1972; Pancar, 2007; Çallı, 2017).



Şekil 5.11. Kaplan ve Uskur türbin çarkı giriş ve çıkış hız üçgenleri.

Kaplan ve Uskur türbin giriş hız üçgenine göre hesaplamalar için aşağıdaki bağıntılar kullanılacaktır.

$$u_x = \frac{\pi \cdot D_{ort} \cdot n}{60} \quad (5.28.)$$

$$c_{1m} = \frac{Q_g}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_e^2 - D_i^2)} \quad (5.29.)$$

$$H_N = \frac{1}{\eta_h} \cdot \left(\frac{u_x \cdot c_{1ux} - u_x \cdot c_{2ux}}{g} \right) \quad (5.30.)$$

$$\tan \beta_1 = \frac{c_{1m}}{u_x - c_{1ux}} \quad (5.31.)$$

$$D_{ort} = \frac{D_e + D_i}{2} \quad (5.32.)$$

Kaplan ve Uskur türbin çıkış hız üçgenine göre hesaplamalar için ise aşağıdaki bağıntılar kullanılacaktır.

$$c_{2m} = \frac{Q_\varphi}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_e^2 - D_i^2)} \quad (5.33.)$$

$$\tan \beta_2 = \frac{c_{2m}}{u_x} \quad (5.34.)$$

Suyun çarktan aksenal çıktığı kabul edilerek $c_{2ux} = 0$ olarak alınabilir. Bu durumda $c_{2m} = c_2$ olur.

5.1.7. Türbin çarkının kanat sayısı

Francis türbin çarkı kanat sayısı için aşağıda önerilen bağıntı kullanılacaktır (Çallı, 2017).

$$z=(5\sim 8) \cdot \left(\frac{D_3+D_1}{D_3-D_1} \right) \cdot \sin \left(\frac{\beta_2+\beta_1}{2} \right) \quad (5.35.)$$

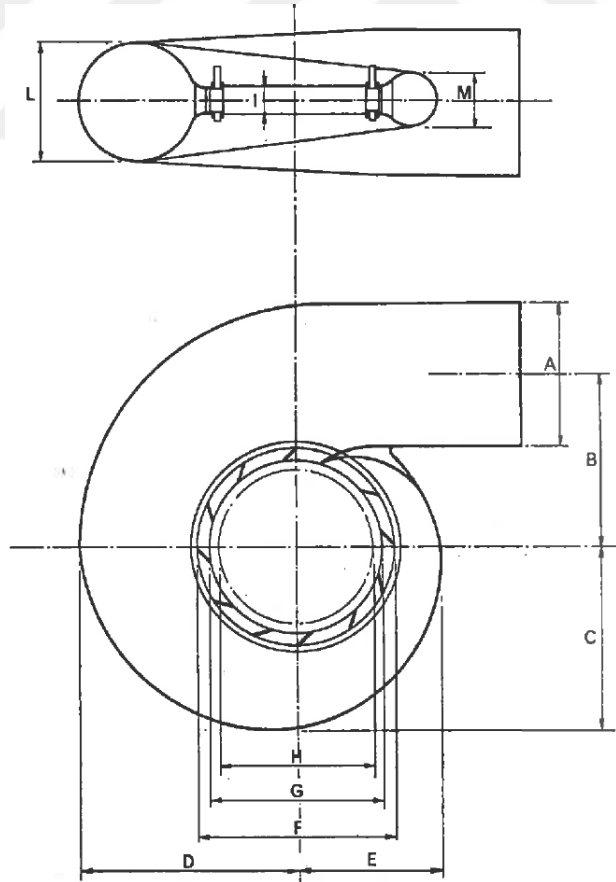
z: Kanat sayısı

Kaplan ve Uskur türbinleri için n_s hızına bağlı kanat sayıları Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kaplan ve Uskur türbinleri için n_s hızına bağlı kanat sayıları.

n_s	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800
z	8	7	7-6	6-4	4

5.1.8. Türbin salyangoz boyutları



Şekil 5.12. Francis, Kaplan ve Uskur türbin çarkı için salyangoz boyutları (de Siervo, de Leva, 1976, 1977).

Francis türbini salyangoz boyutları için aşağıda önerilen bağıntılar kullanılacaktır. (de Siervo, de Leva, 1976).

$$A_f = \left(1,2 - \frac{19,56}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.36.)$$

$$B_f = \left(1,1 + \frac{54,8}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.37.)$$

$$C_f = \left(1,32 + \frac{49,25}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.38.)$$

$$D_f = \left(1,5 + \frac{48,8}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.39.)$$

$$E_f = \left(0,98 + \frac{63,6}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.40.)$$

$$F_f = \left(1,0 + \frac{131,4}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.41.)$$

$$G_f = \left(0,89 + \frac{96,5}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.42.)$$

$$H_f = \left(0,79 + \frac{81,75}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.43.)$$

$$I_f = (0,1 + 0,00065 \cdot n_s) \cdot D_3 \quad (5.44.)$$

$$L_f = (0,88 + 0,00049 \cdot n_s) \cdot D_3 \quad (5.45.)$$

$$M_f = (0,6 + 0,000015 \cdot n_s) \cdot D_3 \quad (5.46.)$$

Kaplan ve Uskur türbini salyangoz boyutları için ise aşağıda önerilen bağıntılar kullanılacaktır (de Siervo, de Leva, 1977).

$$A_k = A_u = (0,4 \cdot n_s^{0,2}) \cdot D_e \quad (5.47.)$$

$$B_k = B_u = \left(1,26 + \frac{3,79 \cdot n_s}{10^4}\right) \cdot D_e \quad (5.48.)$$

$$C_k = C_u = \left(1,46 + \frac{3,24 \cdot n_s}{10^4}\right) \cdot D_e \quad (5.49.)$$

$$D_k = D_u = \left(1,59 + \frac{5,74 \cdot n_s}{10^4}\right) \cdot D_e \quad (5.50.)$$

$$E_k=E_u = \left(1,21 + \frac{2,71 \cdot n_s}{10^4}\right) \cdot D_e \quad (5.51.)$$

$$F_k=F_u = \left(1,45 + \frac{72,17}{n_s}\right) \cdot D_e \quad (5.52.)$$

$$G_k=G_u = \left(1,29 + \frac{41,63}{n_s}\right) \cdot D_e \quad (5.53.)$$

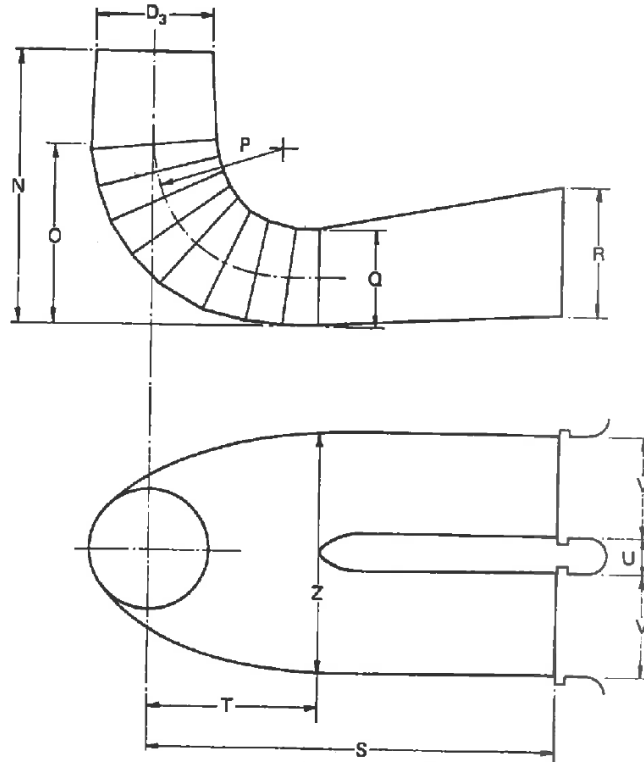
$$H_k=H_u = \left(1,13 + \frac{31,86}{n_s}\right) \cdot D_e \quad (5.54.)$$

$$I_k=I_u = \left(0,45 - \frac{31,8}{n_s}\right) \cdot D_e \quad (5.55.)$$

$$L_k=L_u = \left(0,74 + \frac{8,7 \cdot n_s}{10^4}\right) \cdot D_e \quad (5.56.)$$

$$M_k=M_u = \frac{D_e}{2,06 - \frac{1,2 \cdot n_s}{10^3}} \quad (5.57.)$$

5.1.9. Türbin emme borusu boyutları



Şekil 5.13. Francis, Kaplan ve Uskur türbin çarkı için emme borusu boyutları (de Siervo, de Leva, 1976, 1977).

Francis türbini emme borusu boyutları için aşağıda önerilen bağıntılar kullanılacaktır (de Siervo, de Leva, 1976).

$$N_f = \left(1,54 + \frac{203,5}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.58.)$$

$$O_f = \left(0,83 + \frac{140,7}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.59.)$$

$$P_f = (1,37 - 0,00056 \cdot n_s) \cdot D_3 \quad (5.60.)$$

$$Q_f = \left(0,58 + \frac{22,6}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.61.)$$

$$R_f = \left(1,6 - \frac{0,0013}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.62.)$$

$$S_f = \left(\frac{n_s}{0,25 \cdot n_s - 9,28}\right) \cdot D_3 \quad (5.63.)$$

$$T_f = \left(1,5 + \frac{0,00019}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.64.)$$

$$U_f = (0,51 - 0,0007 \cdot n_s) \cdot D_3 \quad (5.65.)$$

$$V_f = \left(1,1 + \frac{53,7}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.66.)$$

$$Z_f = \left(2,63 + \frac{33,8}{n_s}\right) \cdot D_3 \quad (5.67.)$$

Kaplan ve Uskur türbini emme borusu boyutları için ise aşağıda önerilen bağıntılar kullanılacaktır (de Siervo, de Leva, 1977).

$$N_k = N_u = \left(2 - \frac{2,14 \cdot n_s}{10^6}\right) \cdot D_e \quad (5.68.)$$

$$O_k = O_u = \left(1,4 - \frac{1,67 \cdot n_s}{10^5}\right) \cdot D_e \quad (5.69.)$$

$$P_k = P_u = \left(1,26 - \frac{16,35}{n_s}\right) \cdot D_e \quad (5.70.)$$

$$Q_k = Q_u = \left(0,66 - \frac{18,4}{n_s}\right) \cdot D_e \quad (5.71.)$$

$$R_k=R_u = \left(1,25 - \frac{7,98 \cdot n_s}{10^5}\right) \cdot D_e \quad (5.72.)$$

$$S_k=S_u = \left(4,26 + \frac{201,51}{n_s}\right) \cdot D_e \quad (5.73.)$$

$$T_k=T_u = \left(1,2 + \frac{5,12 \cdot n_s}{10^4}\right) \cdot D_e \quad (5.74.)$$

$$U_k=U_u = (0,51 - 0,0007 \cdot n_s) \cdot D_e \quad (5.75.)$$

$$V_k=V_u = \left(1,1 + \frac{53,7}{n_s}\right) \cdot D_e \quad (5.76.)$$

$$Z_k=Z_u = \left(2,58 + \frac{102,66}{n_s}\right) \cdot D_e \quad (5.77.)$$

5.1.10. Kavitezyon oluşturmayacak türbin eksen kotunun bulunması

Kavitezyon katsayısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir (Bulu, 2011).

$$\sigma_T = \frac{H_{atm} - H_{vap} - H_s}{H_N} \quad (5.78.)$$

σ_T : Kavitezyon katsayısı

H_{atm} : Atmosfer basınç yüksekliği

H_{vap} : Suyun buharlaşma basınç yüksekliği

H_s : Emme yüksekliği

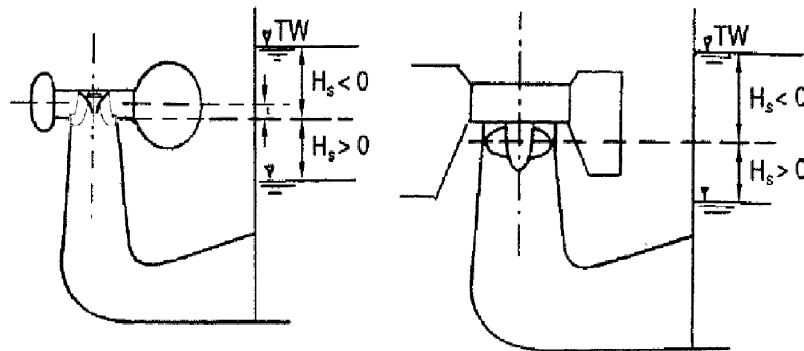
H_N : Net düşü yüksekliği

Farklı türbin tipleri için σ_T hesabında aşağıda önerilen bağıntılar kullanılabilir (Bulu, 2011).

$$\text{Francis için } \sigma_T = 7,54 \times 10^{-5} \cdot n_s^{1,41} \quad (5.79.)$$

$$\text{Kaplan için } \sigma_T = 6,40 \times 10^{-5} \cdot n_s^{1,46} \quad (5.80.)$$

$$\text{Uskur için } \sigma_T = 0,28 + \frac{1}{600} \cdot \left(\frac{n_s}{100}\right)^3 \quad (5.81.)$$



Şekil 5.14. Francis, Kaplan ve Uskur türbin çarkı için emme yüksekliği (Krivchenko, 1993).

Çizelge 5.2. Atmosfer basıncının kotla değişimi (Warnick, 1984).

Kot (m)	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
H _{atm} (m)	10,351	9,751	9,180	8,637	8,120	7,628	7,160	6,716	6,295

Çizelge 5.3. Buharlaşma basıncının su sıcaklığı ile değişimi (Warnick, 1984).

Sıcaklık (°C)	5	10	15	20	25
H _{vap} (m)	0,089	0,125	0,174	0,239	0,324

Çizelge 5.4. 1970-2016 yılları arası aylara göre Karadeniz deniz suyu ortalama sıcaklıkları (°C) (MGM, 2018).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Deniz Suyu Sıcaklık	9,1	7,9	8,0	9,9	13,7	18,8	22,8	24,1	22,3	18,9	15,1	11,6

Çizelge 5.5. 1970-2016 yılları arası aylara göre Marmara Denizi deniz suyu ortalama sıcaklıkları (°C) (MGM, 2018).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Deniz Suyu Sıcaklık	9,1	7,9	8,4	10,9	15,0	19,8	23,1	24,0	22,0	18,6	14,9	11,6

Türbin eksen kotu aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$TEK = KSK + H_s + t \quad (5.82.)$$

TEK : Türbin eksen kotu

KSK : Kuyruksuyu kotu

H_s : Emme yüksekliği

t : Emme eksenini ile çark eksenini arasındaki mesafe

Emme eksenini ile çark eksenini arasındaki mesafe; Kaplan ve Uskur türbinlerinde aynıdır ve hesaplamalarda sıfır (t=0) alınabilir, fakat Francis türbininde bu mesafe çark geometrisinden bulunmalıdır. Bundan sonraki bölümlerde proje bilgileri doğrultusunda ve çalışma aralıkları (EK-9) uygunluğu bakımından 2 ve 3 adet olarak Francis, Kaplan ve Uskur türbin tasarımı yapılarak birbirleri ile karşılaştırılacaklardır. Bu karşılaştırmada adet ve türbin tipi olarak uygulanabilecek optimum sonuçlar irdelenecektir.

5.1.11. İki ünite koşullarında türbin tasarımı

Francis Türbini tasarımı

Çizelge 5.6. Türbinden elde edilen güç, türbinin özgül hızı ve türbinin dönme hızı (iki ünite/Francis).

Türbinden elde edilen güç	Türbinin özgül hızı	Türbinin dönme hızı
$Q=10/2=5\text{m}^3/\text{s}$ Eşitlik (5.2.)'den $P_t = 1000 \times 9,81 \times 5 \times 23 \times 0,9$ $P_t = 1015,335 \text{ kW}$ $P_t = 1361,564 \text{ BG}$	Eşitlik (5.6.)'den $n_s = \frac{1914}{23^{0,512}}$ $n_s = 384,4 \text{ dev/dk}$	Eşitlik (5.4.)'den $n = 384,4 \cdot \frac{23^{5/4}}{\sqrt{1361,564}}$ $n = 524,7 \text{ dev/dk}$

Türbin mil çapının belirlenmesi :

Eşitlik (5.9.)'den;

$$d_m = 14,4 \cdot \sqrt[3]{\frac{1015,335}{524,7}} \quad \text{ise,}$$

$d_m = 18 \text{ cm}$ bulunur.

Türbin göbek çapının belirlenmesi :

Eşitlik (5.10.)'den

$$d_g = 2 \times 18 \quad \text{ise,}$$

$d_g = 36 \text{ cm}$ bulunur.

Türbin çarkının giriş ve çıkış boyutlarının belirlenmesi :

Türbin çarkı çıkış çapı eşitlik (5.11.)'den;

$$D_3 = 84,5 \cdot \left(0,31 + 2,488 \cdot \frac{384,4}{995} \right) \cdot \frac{\sqrt{23}}{524,7} \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_3 = 1 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı giriş çapı eşitlik (5.12.)'den;

$$D_1 = \left(0,4 + \frac{0,095 \times 995}{384,4} \right) \cdot 1 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_1 = 0,6 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı çıkış dar çapı eşitlik (5.13.)'den;

$$D_2 = \frac{1}{0,96 + \frac{0,3781 \times 384,4}{995}} \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_2 = 0,9 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı yüksekliği;

Eşitlik (5.14.)'ten;

$\sigma = 0,7$ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.2. den $\sigma = 0,7$ için; $\frac{h}{D_1} = 0,8$, $\frac{b_0}{D_1} = 0,4$ olarak okunur.

Buradan;

$$\frac{h}{0,6} = 0,8 \quad \text{ise} \quad h = 0,48 \text{ m ,}$$

$$\frac{b_0}{0,6} = 0,4 \quad \text{ise} \quad b_0 = 0,24 \text{ m} \quad \text{olur.}$$

$b_1 = 0,28 \text{ m}$, $b_2 = 0,48 \text{ m}$ olarak türbin çarkı kesiti üzerinden geometrik olarak bulunur.

Türbin kanatlarındaki hız bileşenlerinin belirlenmesi :

Çizelge 5.7. Türbinin giriş ve çıkış hız bileşenleri (iki ünite/Francis).

Giriş hız bileşenleri	Çıkış hız bileşenleri
<p>Eşitlik (5.20.)'den;</p> $u_1 = \frac{\pi \times 0,6 \times 524,7}{60}$ <p>$u_1 = 16,5 \text{ m/s}$</p>	<p>Eşitlik (5.24.)'den;</p> $u_2 = \frac{\pi \times 1 \times 524,7}{60}$ <p>$u_2 = 27,5 \text{ m/s}$</p>
<p>Eşitlik (5.21.)'den;</p> $c_{1m} = \frac{5}{\pi \times 0,6 \times 0,28}$ <p>$c_{1m} = 9,5 \text{ m/s}$</p>	<p>Eşitlik (5.25.) ve (5.27.) 'den;</p> $c_{2m} = \frac{0,98 \times 5}{\pi \times 1 \times 0,48}$ <p>$c_{2m} = 5,4 \text{ m/s}$</p>
<p>Eşitlik (5.22.)'den;</p> $23 = \frac{1}{0,93} \cdot \left(\frac{16,5 \cdot c_{1u}}{9,81} \right)$ <p>$c_{1u} = 12,7 \text{ m/s}$</p>	<p>$c_{2u} = 0$</p>
<p>Eşitlik (5.23.)'den;</p> $\tan \beta_1 = \frac{9,5}{16,5 - 12,7}$ <p>$\beta_1 = 68^\circ$</p>	<p>Eşitlik (5.26.)'den;</p> $\tan \beta_2 = \frac{5,4}{27,5}$ <p>$\beta_2 = 11^\circ$</p>

Türbin çarkının kanat sayısının belirlenmesi:

Eşitlik (5.35.)'den;

$z = 13 \text{ adet}$ bulunur.

Türbin salyangoz boyutlarının belirlenmesi:

Eşitlik (5.36.)'den;

$$A_f = \left(1,2 - \frac{19,56}{384,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{A_f = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.37.)'den;

$$B_f = \left(1,1 + \frac{54,8}{384,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{B_f = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.38.)'den;

$$C_f = \left(1,32 + \frac{49,25}{384,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{C_f = 1,4 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.39.)'den;

$$D_f = \left(1,5 + \frac{48,8}{384,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{D_f = 1,6 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.40.)'den;

$$E_f = \left(0,98 + \frac{63,6}{384,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{E_f = 1,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.41.)'den;

$$F_f = \left(1,0 + \frac{131,4}{384,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{F_f = 1,3 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.42.)'den;

$$G_f = \left(0,89 + \frac{96,5}{384,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{G_f = 1,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.43.)'den;

$$H_f = \left(0,79 + \frac{81,75}{384,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{H_f = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.44.)'den;

$$I_f = (0,1 + 0,00065 \times 384,4) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{I_f = 0,3 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Eşitlik (5.45.)'den;

$$L_f = (0,88 + 0,00049 \times 384,4) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{L_f = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.46.)'dan;

$$M_f = (0,6 + 0,000015 \times 384,4) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{M_f = 0,6 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Türbin emme borusu boyutlarının belirlenmesi:

Eşitlik (5.58.)'den;

$$N_f = \left(1,54 + \frac{203,5}{384,4} \right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{N_f = 2,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.59.)'dan;

$$O_f = \left(0,83 + \frac{140,7}{384,4} \right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{O_f = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.60.)'dan;

$$P_f = (1,37 - 0,00056 \times 384,4) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{P_f = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.61.)'den;

$$Q_f = \left(0,58 + \frac{22,6}{384,4} \right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{Q_f = 0,6 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.62.)'den;

$$R_f = \left(1,6 - \frac{0,0013}{384,4} \right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{R_f = 1,6 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.63.)'den;

$$S_f = \left(\frac{384,4}{0,25 \times 384,4 - 9,28} \right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{S_f = 4,4 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.64.)'den;

$$T_f = \left(1,5 + \frac{0,00019}{384,4} \right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{T_f = 1,5 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.65.)'den;

$$U_f = (0,51 - 0,0007 \times 384,4) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{U_f = 0,2 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Eşitlik (5.66.)'den;

$$V_f = \left(1,1 + \frac{53,7}{384,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{V_f = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.67.)'den;

$$Z_f = \left(2,63 + \frac{33,8}{384,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{Z_f = 2,7 \text{ m}} \text{ olarak bulunur.}$$

Kavitasyon oluşturmayacak türbin eksen kotunun bulunması :

Pamukova ilçesinin deniz seviyesinden yüksekliği 90 m kabul edilerek Çizelge 5.2.'den ara değer hesabıyla;

$$H_{\text{atm}} = 10,243 \text{ m hesaplanmıştır.}$$

Çalışma suyu sıcaklığı Çizelge 5.4. ve Çizelge 5.5. baz alınarak 25⁰C kabul edilmiştir. Bu hususta Çizelge 5.3.'den;

$$H_{\text{vap}} : 0,324 \text{ m olarak alınmıştır.}$$

Eşitlik (5.79.)'den;

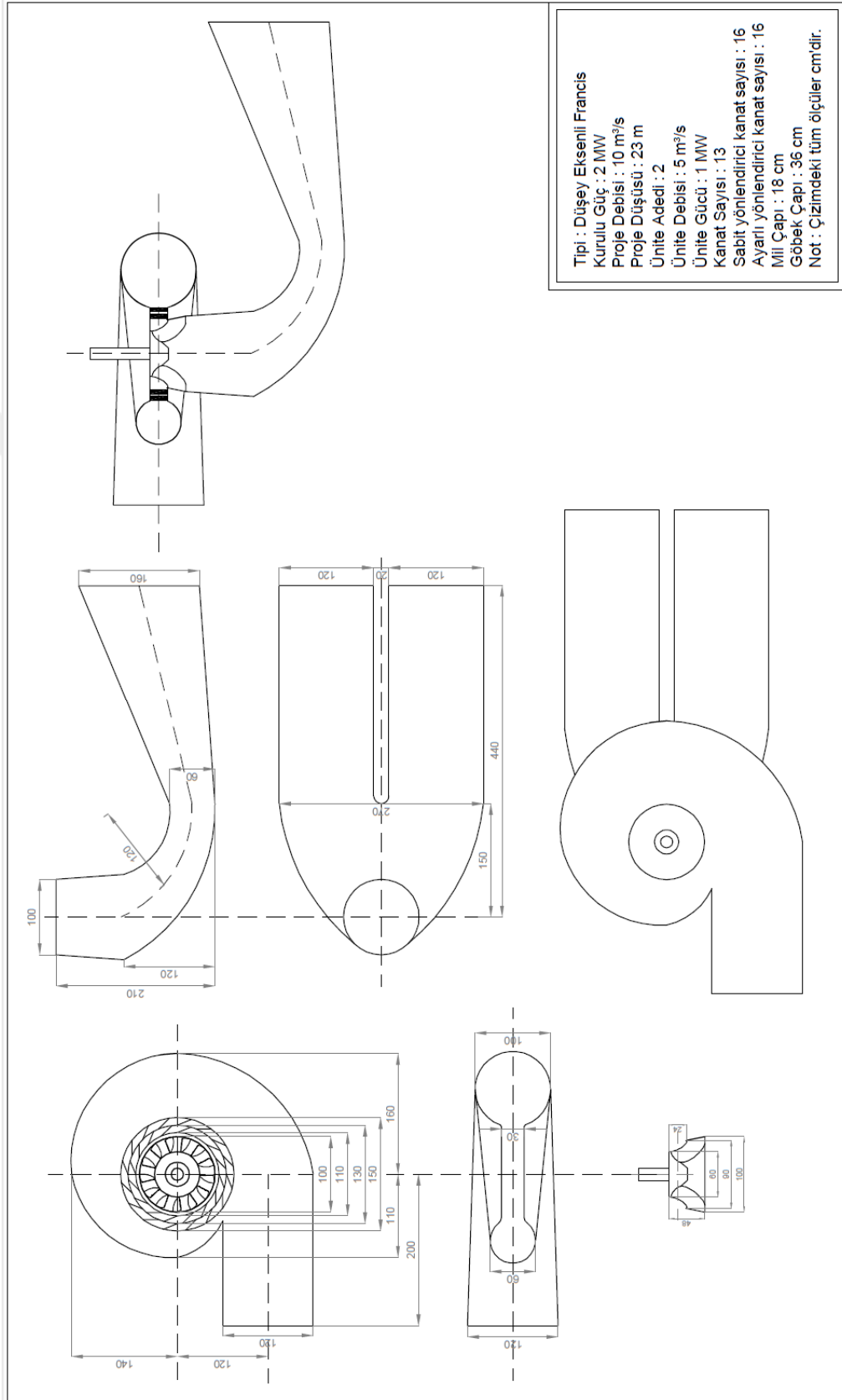
$$\boxed{\sigma_T = 0,33} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Eşitlik (5.78.)'den;

$$\boxed{H_s = 2,3 \text{ m}} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Eşitlik (5.82.)'den;

$\boxed{\text{Türbin eksen kotu} = 153,41 \text{ m}}$ olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla türbin eksen kotu kuyruksuyu kotuyla aynı olarak alınabilir.



Şekil 5.15. Düşey eksenli, iki ünite durumunda Francis türbin konstrüksiyon çizimleri.

Kaplan Türbini tasarımı

Çizelge 5.8. Türbinden elde edilen güç, türbinin özgül hızı, türbinin dönme hızı (iki ünite/Kaplan).

Türbinden elde edilen güç	Türbinin özgül hızı	Türbinin dönme hızı
$Q=10/2=5\text{m}^3/\text{s}$ Eşitlik (5.2.)'den $P_t = 1000 \times 9,81 \times 5 \times 23 \times 0,9$ $P_t = 1015,335 \text{ kW}$ $P_t = 1361,564 \text{ BG}$	Eşitlik (5.7.)'den $n_s = \frac{2283}{23^{0,486}}$ $n_s = 497,4 \text{ dev/dk}$	Eşitlik (5.4.)'den $n = 497,4 \cdot \frac{23^{5/4}}{\sqrt{1361,564}}$ $n = 679,0 \text{ dev/dk}$

Türbin mil çapının belirlenmesi :

Eşitlik (5.9.)'den

$$d_m = 14,4 \cdot \sqrt[3]{\frac{1015,335}{679}} \text{ ise,}$$

$d_m = 17 \text{ cm}$ bulunur.

Türbin göbek çapının belirlenmesi :

Eşitlik (5.10.)'den

$$d_g = 2 \times 17 \text{ ise,}$$

$d_g = 34 \text{ cm}$ bulunur.

Türbin çarkının giriş ve çıkış boyutlarının belirlenmesi :

Türbin çarkı dış çapı eşitlik (5.15.)'den;

$$D_e = 84,5 \cdot \left(0,79 + 1,602 \cdot \frac{497,4}{995} \right) \cdot \frac{\sqrt{23}}{679} \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_e = 1 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı göbek çapı eşitlik (5.16.)'dan;

$$D_i = \left(0,25 + \frac{0,0951 \times 995}{497,4} \right) \cdot 1 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_i = 0,4 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı eksenenden yükseklikleri eşitlik (5.17.), (5.18.) ve (5.19.)'dan;

$$H_e = \left(\frac{6,94}{497,4^{0,403}} \right) \cdot 1 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{H_e = 0,6 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

$$H_i = \left(0,38 + \frac{5,17 \times 497,4}{10^5} \right) \cdot 1 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{H_i = 0,4 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

$$H_t = \left(0,24 + \frac{7,82 \times 497,4}{10^5} \right) \cdot 1 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{H_t = 0,3 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin kanatlarındaki hız bileşenlerinin belirlenmesi :

Eşitlik (5.32.)'den

$$D_{\text{ort}} = \frac{1+0,4}{2} \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_{\text{ort}} = 0,7 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Çizelge 5.9. Türbinin giriş ve çıkış hız bileşenleri (iki ünite/Kaplan).

Giriş hız bileşenleri	Çıkış hız bileşenleri
Eşitlik (5.28.)'den; $u_x = \frac{\pi \times 0,7 \times 679}{60}$ $u_x = 24,9 \text{ m/s}$	Eşitlik (5.28.)'den; $u_x = \frac{\pi \times 0,7 \times 679}{60}$ $u_x = 24,9 \text{ m/s}$
Eşitlik (5.29.)'dan; $c_{1m} = \frac{5}{\frac{\pi}{4} \cdot (1^2 - 0,4^2)}$ $c_{1m} = 7,6 \text{ m/s}$	Eşitlik (5.33.) ve (5.27.) 'den; $c_{2m} = \frac{5 \times 0,98}{\frac{\pi}{4} \cdot (1^2 - 0,4^2)}$ $c_{2m} = 7,4 \text{ m/s}$
Eşitlik (5.30.)'dan; $23 = \frac{1}{0,93} \cdot \left(\frac{24,9 \cdot c_{1ux}}{9,81} \right)$ $c_{1ux} = 8,4 \text{ m/s}$	$c_{2ux} = 0$
Eşitlik (5.31.)'den; $\tan \beta_1 = \frac{7,6}{24,9 - 8,4}$ $\beta_1 = 25^\circ$	Eşitlik (5.34.)'den; $\tan \beta_2 = \frac{7,4}{24,9}$ $\beta_2 = 17^\circ$

Türbin çarkının kanat sayısının belirlenmesi:

Çizelge 5.1.'den;

$z = 7$ adet olarak alınmıştır.

Türbin salyangoz boyutlarının belirlenmesi:

Eşitlik (5.47.)'den;

$$A_k = (0,4 \times 497,4^{0,2}) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{A_k = 1,4 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.48.)'den;

$$B_k = \left(1,26 + \frac{3,79 \times 497,4}{10^4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{B_k = 1,4 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.49.)'den;

$$C_k = \left(1,46 + \frac{3,24 \times 497,4}{10^4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{C_k = 1,6 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.50.)'den;

$$D_k = \left(1,59 + \frac{5,74 \times 497,4}{10^4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{D_k = 1,9 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.51.)'den;

$$E_k = \left(1,21 + \frac{2,71 \times 497,4}{10^4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{E_k = 1,3 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.52.)'den;

$$F_k = \left(1,45 + \frac{72,17}{497,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{F_k = 1,6 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.53.)'den;

$$G_k = \left(1,29 + \frac{41,63}{497,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{G_k = 1,4 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.54.)'den;

$$H_k = \left(1,13 + \frac{31,86}{497,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{H_k = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.55.)'den;

$$I_k = \left(0,45 - \frac{31,8}{497,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{I_k = 0,4 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Eşitlik (5.56.)'den;

$$L_k = \left(0,74 + \frac{8,7 \times 497,4}{10^4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{L_k = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.57.)'den;

$$M_k = \frac{1}{2,06 - \frac{1,2 \times 497,4}{10^3}} \quad \text{ise} \quad \boxed{M_k = 0,7 \text{ m}} \text{ olarak bulunur.}$$

Türbin emme borusu boyutlarının belirlenmesi:

Eşitlik (5.68.)'den;

$$N_k = \left(2 - \frac{2,14 \times 497,4}{10^6}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{N_k = 2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.69.)'den;

$$O_k = \left(1,4 - \frac{1,67 \times 497,4}{10^5}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{O_k = 1,4 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.70.)'den;

$$P_k = \left(1,26 - \frac{16,35}{497,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{P_k = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.71.)'den;

$$Q_k = \left(0,66 - \frac{18,4}{497,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{Q_k = 0,6 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.72.)'den;

$$R_k = \left(1,25 - \frac{7,98 \times 497,4}{10^5}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{R_k = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.73.)'den;

$$S_k = \left(4,26 + \frac{201,51}{497,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{S_k = 4,7 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.74.)'den;

$$T_k = \left(1,2 + \frac{5,12 \times 497,4}{10^4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{T_k = 1,5 \text{ m}} \text{ olarak bulunur.}$$

Eşitlik (5.75.)'den;

$$U_k = (0,51 - 0,0007 \times 497,4) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{U_k = 0,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.76.)'den;

$$V_k = \left(1,1 + \frac{53,7}{497,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{V_k = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.77.)'den;

$$Z_k = \left(2,58 + \frac{102,66}{497,4}\right) \cdot 1 \quad \text{ise} \quad \boxed{Z_k = 2,8 \text{ m}} \text{ olarak bulunur.}$$

Kavitasyon oluşturmayacak türbin eksen kotunun bulunması :

Pamukova ilçesinin deniz seviyesinden yüksekliği 90 m kabul edilerek Çizelge 5.2.'den ara değer hesabıyla;

$$H_{\text{atm}} = 10,243 \text{ m hesaplanmıştır.}$$

Çalışma suyu sıcaklığı Çizelge 5.4. ve Çizelge 5.5. baz alınarak 25⁰C kabul edilmiştir. Bu hususta Çizelge 5.3.'den;

$$H_{\text{vap}} : 0,324 \text{ m olarak alınmıştır.}$$

Eşitlik (5.80.)'den;

$$\boxed{\sigma_T = 0,55} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Eşitlik (5.78.)'den;

$$\boxed{H_s = -2,7 \text{ m}} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Eşitlik (5.82.)'den;

$\boxed{\text{Türbin eksen kotu} = 148,05 \text{ m}}$ olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla türbini kuyruksuyu kotunun altına gömmek gerekecektir.

Uskur Türbini tasarımı

Çizelge 5.10. Türbinden elde edilen güç, türbinin özgül hızı, türbinin dönme hızı (iki ünite/Uskur).

Türbinden elde edilen güç	Türbinin özgül hızı	Türbinin dönme hızı
$Q=10/2=5\text{m}^3/\text{s}$ Eşitlik (5.2.)'den $P_t = 1000 \times 9,81 \times 5 \times 23 \times 0,9$ $P_t = 1015,335 \text{ kW}$ $P_t = 1361,564 \text{ BG}$	Eşitlik (5.8.)'den $n_s = \frac{2702}{23^{0,5}}$ $n_s = 563,4 \text{ dev/dk}$	Eşitlik (5.4.)'den $n = 563,4 \cdot \frac{23^{5/4}}{\sqrt{1361,564}}$ $n = 769,1 \text{ dev/dk}$

Türbin mil çapının belirlenmesi :

Eşitlik (5.9.)'dan;

$$d_m = 14,4 \cdot \sqrt[3]{\frac{1015,335}{769,1}} \text{ ise,}$$

$d_m = 16 \text{ cm}$ bulunur.

Türbin göbek çapının belirlenmesi :

Eşitlik (5.10.)'dan;

$$d_g = 2 \times 16 \text{ ise,}$$

$d_g = 32 \text{ cm}$ bulunur.

Türbin çarkının giriş ve çıkış boyutlarının belirlenmesi :

Türbin çarkı dış çapı eşitlik (5.15.)'den;

$$D_e = 84,5 \cdot \left(0,79 + 1,602 \cdot \frac{563,4}{995} \right) \cdot \frac{\sqrt{23}}{769,1} \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_e = 0,9 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı göbek çapı eşitlik (5.16.)'dan;

$$D_i = \left(0,25 + \frac{0,0951 \times 995}{563,4} \right) \cdot 0,9 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_i = 0,4 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı eksenenden yükseklikleri eşitlik (5.17.), (5.18.) ve (5.19)'dan;

$$H_e = \left(\frac{6,94}{563,4^{0,403}} \right) \cdot 0,9 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{H_e = 0,5 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

$$H_i = \left(0,38 + \frac{5,17 \times 563,4}{10^5} \right) \cdot 0,9 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{H_i = 0,4 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

$$H_t = \left(0,24 + \frac{7,82 \times 563,4}{10^5} \right) \cdot 0,9 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{H_t = 0,3 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin kanatlarındaki hız bileşenlerinin belirlenmesi :

Eşitlik (5.32.)'den

$$D_{\text{ort}} = \frac{0,9 + 0,4}{2} \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_{\text{ort}} = 0,65 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Çizelge 5.11. Türbinin giriş ve çıkış hız bileşenleri (iki ünite/Uskur).

Giriş hız bileşenleri	Çıkış hız bileşenleri
Eşitlik (5.28.)'den; $u_x = \frac{\pi \times 0,65 \times 769,1}{60}$ $u_x = 26,2 \text{ m/s}$	Eşitlik (5.28.)'den; $u_x = \frac{\pi \times 0,65 \times 769,1}{60}$ $u_x = 26,2 \text{ m/s}$
Eşitlik (5.29.)'den; $c_{1m} = \frac{5}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,9^2 - 0,4^2)}$ $c_{1m} = 9,8 \text{ m/s}$	Eşitlik (5.33.) ve (5.27.) 'den; $c_{2m} = \frac{5 \times 0,98}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,9^2 - 0,4^2)}$ $c_{2m} = 9,6 \text{ m/s}$
Eşitlik (5.30.)'den; $23 = \frac{1}{0,93} \cdot \left(\frac{26,2 \cdot c_{1ux}}{9,81} \right)$ $c_{1ux} = 8,0 \text{ m/s}$	$c_{2ux} = 0$
Eşitlik (5.31.)'den; $\tan \beta_1 = \frac{9,8}{26,2 - 8,0}$ $\beta_1 = 28^\circ$	Eşitlik (5.34.)'den; $\tan \beta_2 = \frac{9,6}{26,2}$ $\beta_2 = 20^\circ$

Türbin çarkının kanat sayısının belirlenmesi:

Çizelge 5.1.'den;

$z = 7$ adet olarak alınmıştır.

Türbin salyangoz boyutlarının belirlenmesi:

Eşitlik (5.47.)'den;

$$A_u = (0,4 \times 563,4^{0,2}) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{A_u = 1,3 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.48.)'den;

$$B_u = \left(1,26 + \frac{3,79 \times 563,4}{10^4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{B_u = 1,3 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.49.)'den;

$$C_u = \left(1,46 + \frac{3,24 \times 563,4}{10^4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{C_u = 1,5 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.50.)'den;

$$D_u = \left(1,59 + \frac{5,74 \times 563,4}{10^4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{D_u = 1,7 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.51.)'den;

$$E_u = \left(1,21 + \frac{2,71 \times 563,4}{10^4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{E_u = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.52.)'den;

$$F_u = \left(1,45 + \frac{72,17}{563,4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{F_u = 1,4 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.53.)'den;

$$G_u = \left(1,29 + \frac{41,63}{563,4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{G_u = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.54.)'den;

$$H_u = \left(1,13 + \frac{31,86}{563,4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{H_u = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.55.)'den;

$$I_u = \left(0,45 - \frac{31,8}{563,4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{I_u = 0,4 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Eşitlik (5.56.)'den;

$$L_u = \left(0,74 + \frac{8,7 \times 563,4}{10^4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{L_u = 1,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.57.)'den;

$$M_u = \frac{0,9}{2,06 - \frac{1,2 \times 563,4}{10^3}} \quad \text{ise} \quad \boxed{M_u = 0,7 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Türbin emme borusu boyutlarının belirlenmesi:

Eşitlik (5.68.)'den;

$$N_u = \left(2 - \frac{2,14 \times 563,4}{10^6}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{N_u = 1,8 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.69.)'den;

$$O_u = \left(1,4 - \frac{1,67 \times 563,4}{10^5}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{O_u = 1,3 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.70.)'den;

$$P_u = \left(1,26 - \frac{16,35}{563,4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{P_u = 1,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.71.)'den;

$$Q_u = \left(0,66 - \frac{18,4}{563,4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{Q_u = 0,6 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.72.)'den;

$$R_u = \left(1,25 - \frac{7,98 \times 563,4}{10^5}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{R_u = 1,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.73.)'den;

$$S_u = \left(4,26 + \frac{201,51}{563,4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{S_u = 4,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.74.)'den;

$$T_u = \left(1,2 + \frac{5,12 \times 563,4}{10^4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{T_u = 1,3 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Eşitlik (5.75.)'den;

$$U_u = (0,51 - 0,0007 \times 563,4) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{U_u = 0,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.76.)'dan;

$$V_u = \left(1,1 + \frac{53,7}{563,4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{V_u = 1,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.77.)'den;

$$Z_u = \left(2,58 + \frac{102,66}{563,4}\right) \cdot 0,9 \quad \text{ise} \quad \boxed{Z_u = 2,5 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Kavitasyon oluşturmayacak türbin eksen kotunun bulunması :

Pamukova ilçesinin deniz seviyesinden yüksekliği 90 m kabul edilerek Çizelge 5.2.'den ara değer hesabıyla;

$$H_{\text{atm}} = 10,243 \text{ m hesaplanmıştır.}$$

Çalışma suyu sıcaklığı Çizelge 5.4. ve Çizelge 5.5. baz alınarak 25⁰C kabul edilmiştir. Bu hususta Çizelge 5.3.'den;

$$H_{\text{vap}} : 0,324 \text{ m olarak alınmıştır.}$$

Eşitlik (5.81.)'den;

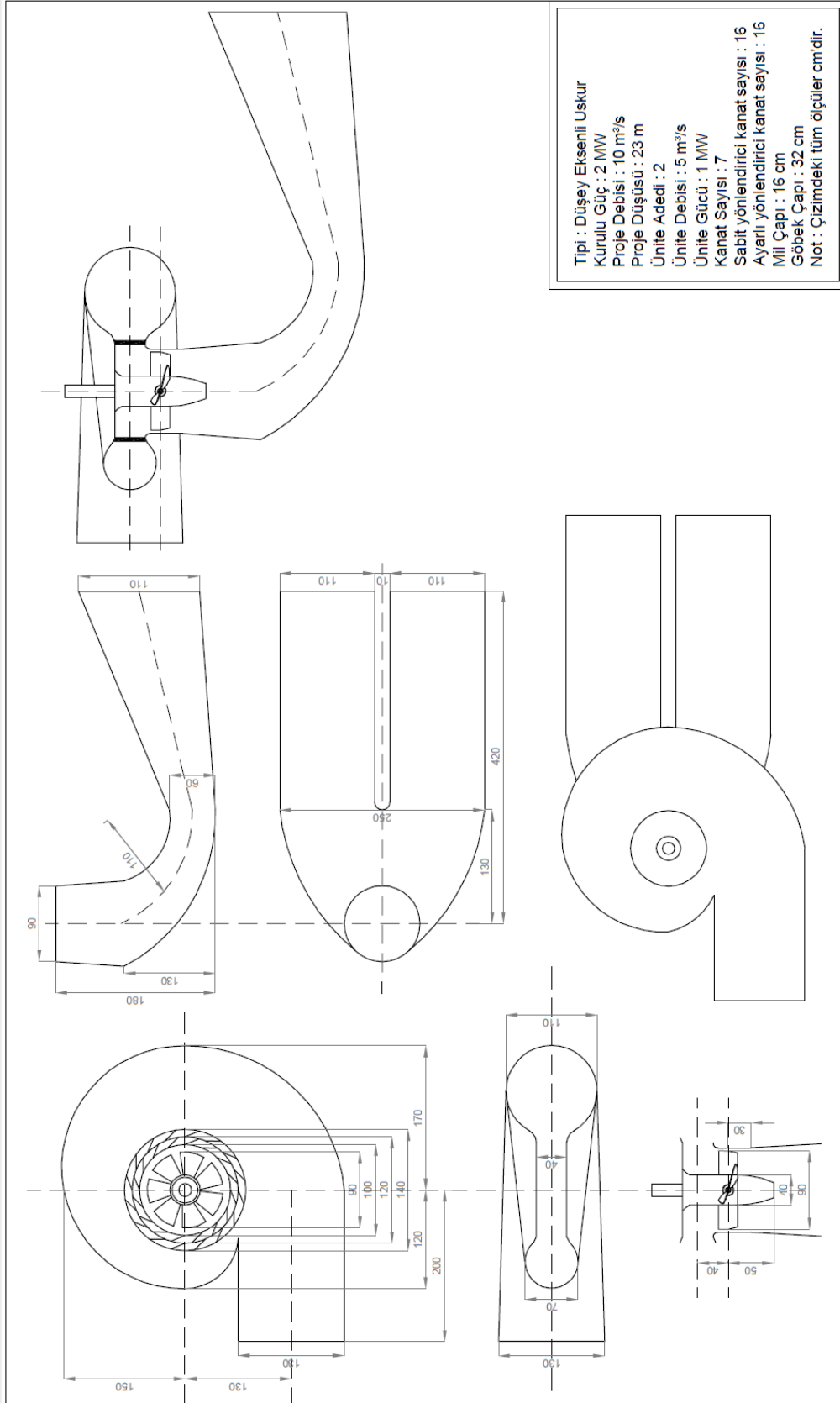
$$\boxed{\sigma_T = 0,57} \quad \text{olarak hesaplanmıştır.}$$

Eşitlik (5.78.)'den;

$$\boxed{H_s = -3,2 \text{ m}} \quad \text{olarak hesaplanmıştır.}$$

Eşitlik (5.82.)'den;

$$\boxed{\text{Türbin eksen kotu} = 147,55 \text{ m}} \quad \text{olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla türbini kuyruksuyu kotunun altına gömmek gerekecektir.}$$



Şekil 5.17. Düşey eksenli, iki ünite durumda Uskur türbin konstrüksiyon çizimleri.

5.1.12. Üç ünite koşullarında türbin tasarımı

Francis Türbini tasarımı

Çizelge 5.12. Türbinden elde edilen güç, türbinin özgül hızı ve türbinin dönme hızı (üç ünite/Francis).

Türbinden elde edilen güç	Türbinin özgül hızı	Türbinin dönme hızı
$Q=10/3=3,333\text{m}^3/\text{s}$ Eşitlik (5.2.)'den $P_t = 1000 \times 9,81 \times 3,33 \times 23 \times 0,9$ $P_t = 676,822 \text{ kW}$ $P_t = 907,618 \text{ BG}$	Eşitlik (5.6.)'den $n_s = \frac{1914}{23^{0,512}}$ $n_s = 384,4 \text{ dev/dk}$	Eşitlik (5.4.)'den $n = 384,4 \cdot \frac{23^{5/4}}{\sqrt{907,618}}$ $n = 642,7 \text{ dev/dk}$

Türbin mil çapının belirlenmesi :

Eşitlik (5.9.)'den

$$d_m = 14,4 \cdot \sqrt[3]{\frac{676,822}{642,7}} \text{ ise,}$$

$d_m = 15 \text{ cm}$ bulunur.

Türbin göbek çapının belirlenmesi :

Eşitlik (5.10.)'den

$$d_g = 2 \times 15$$

$$d_g = 30 \text{ cm}$$

Türbin çarkının giriş ve çıkış boyutlarının belirlenmesi :

Türbin çarkı çıkış çapı eşitlik (5.11.)'den;

$$D_3 = 84,5 \cdot \left(0,31 + 2,488 \cdot \frac{384,4}{995} \right) \cdot \frac{\sqrt{23}}{642,7} \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_3 = 0,8 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı giriş çapı eşitlik (5.12.)'den;

$$D_1 = \left(0,4 + \frac{0,095 \times 995}{384,4} \right) \cdot 0,8 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_1 = 0,5 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı çıkış dar çapı eşitlik (5.13.)'den;

$$D_2 = \frac{0,8}{0,96 + \frac{0,3781 \times 384,4}{995}} \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_2 = 0,7 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı yüksekliği;

Eşitlik (5.14.)'ten;

$\sigma = 0,7$ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.2. den $\sigma = 0,7$ için; $\frac{h}{D_1} = 0,8$, $\frac{b_0}{D_1} = 0,4$ olarak okunur.

$$\frac{h}{0,5} = 0,8 \quad \text{ise} \quad h = 0,4 \text{ m}$$

$$\frac{b_0}{0,5} = 0,4 \quad \text{ise} \quad b_0 = 0,2 \text{ m} \quad \text{olur.}$$

$b_1 = 0,22 \text{ m}$, $b_2 = 0,40 \text{ m}$ türbin çarkı kesiti üzerinden geometrik olarak bulunur.

Türbin kanatlarındaki hız bileşenlerinin belirlenmesi :

Çizelge 5.13. Türbinin giriş ve çıkış hız bileşenleri (üç ünite/Francis).

Giriş hız bileşenleri	Çıkış hız bileşenleri
<p>Eşitlik (5.20.)'den;</p> $u_1 = \frac{\pi \times 0,5 \times 642,7}{60}$ <p>$u_1 = 16,8 \text{ m/s}$</p>	<p>Eşitlik (5.24.)'den;</p> $u_2 = \frac{\pi \times 0,8 \times 642,7}{60}$ <p>$u_2 = 26,9 \text{ m/s}$</p>
<p>Eşitlik (5.21.)'den;</p> $c_{1m} = \frac{3,333}{\pi \times 0,5 \times 0,22}$ <p>$c_{1m} = 9,6 \text{ m/s}$</p>	<p>Eşitlik (5.25.) ve (5.27.) 'den;</p> $c_{2m} = \frac{0,98 \times 3,333}{\pi \times 0,8 \times 0,4}$ <p>$c_{2m} = 3,3 \text{ m/s}$</p>
<p>Eşitlik (5.22.)'den;</p> $23 = \frac{1}{0,93} \cdot \left(\frac{16,8 \cdot c_{1u}}{9,81} \right)$ <p>$c_{1u} = 12,5 \text{ m/s}$</p>	<p>$c_{2u} = 0$</p>
<p>Eşitlik (5.23.)'den;</p> $\tan \beta_1 = \frac{9,6}{16,8 - 12,5}$ <p>$\beta_1 = 66^\circ$</p>	<p>Eşitlik (5.26.)'den;</p> $\tan \beta_2 = \frac{3,3}{26,9}$ <p>$\beta_2 = 7^\circ$</p>

Türbin çarkının kanat sayısının belirlenmesi:

Eşitlik (5.35.)'den;

$z = 13 \text{ adet}$ olarak hesaplanmıştır.

Türbin salyangoz boyutlarının belirlenmesi:

Eşitlik (5.36.)'den;

$$A_f = \left(1,2 - \frac{19,56}{384,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{A_f = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.37.)'den;

$$B_f = \left(1,1 + \frac{54,8}{384,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{B_f = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.38.)'den;

$$C_f = \left(1,32 + \frac{49,25}{384,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{C_f = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.39.)'den;

$$D_f = \left(1,5 + \frac{48,8}{384,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{D_f = 1,3 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.40.)'den;

$$E_f = \left(0,98 + \frac{63,6}{384,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{E_f = 0,9 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.41.)'den;

$$F_f = \left(1,0 + \frac{131,4}{384,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{F_f = 1,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.42.)'den;

$$G_f = \left(0,89 + \frac{96,5}{384,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{G_f = 0,9 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.43.)'den;

$$H_f = \left(0,79 + \frac{81,75}{384,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{H_f = 0,8 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.44.)'den;

$$I_f = (0,1 + 0,00065 \times 384,4) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{I_f = 0,3 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Eşitlik (5.45.)'den;

$$L_f = (0,88 + 0,00049 \times 384,4) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{L_f = 0,9 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.46.)'dan;

$$M_f = (0,6 + 0,000015 \times 384,4) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{M_f = 0,5 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Türbin emme borusu boyutlarının belirlenmesi:

Eşitlik (5.58.)'den;

$$N_f = \left(1,54 + \frac{203,5}{384,4} \right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{N_f = 1,7 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.59.)'dan;

$$O_f = \left(0,83 + \frac{140,7}{384,4} \right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{O_f = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.60.)'dan;

$$P_f = (1,37 - 0,00056 \times 384,4) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{P_f = 0,9 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.61.)'den;

$$Q_f = \left(0,58 + \frac{22,6}{384,4} \right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{Q_f = 0,5 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.62.)'den;

$$R_f = \left(1,6 - \frac{0,0013}{384,4} \right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{R_f = 1,3 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.63.)'den;

$$S_f = \left(\frac{384,4}{0,25 \times 384,4 - 9,28} \right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{S_f = 3,5 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.64.)'den;

$$T_f = \left(1,5 + \frac{0,00019}{384,4} \right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{T_f = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.65.)'den;

$$U_f = (0,51 - 0,0007 \times 384,4) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{U_f = 0,2 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Eşitlik (5.66.)'dan;

$$V_f = \left(1,1 + \frac{53,7}{384,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{V_f = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.67.)'den;

$$Z_f = \left(2,63 + \frac{33,8}{384,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{Z_f = 2,2 \text{ m}} \text{ olarak bulunur.}$$

Kavitasyon oluşturmayacak türbin eksen kotunun bulunması :

Pamukova ilçesinin deniz seviyesinden yüksekliği 90 m kabul edilerek Çizelge 5.2.'den ara değer hesabıyla;

$H_{\text{atm}} = 10,243 \text{ m}$ hesaplanmıştır.

Çalışma suyu sıcaklığı Çizelge 5.4. ve Çizelge 5.5. baz alınarak 25°C kabul edilmiştir. Bu hususta Çizelge 5.3.'den;

$H_{\text{vap}} : 0,324 \text{ m}$ olarak alınmıştır.

Eşitlik (5.79.)'dan;

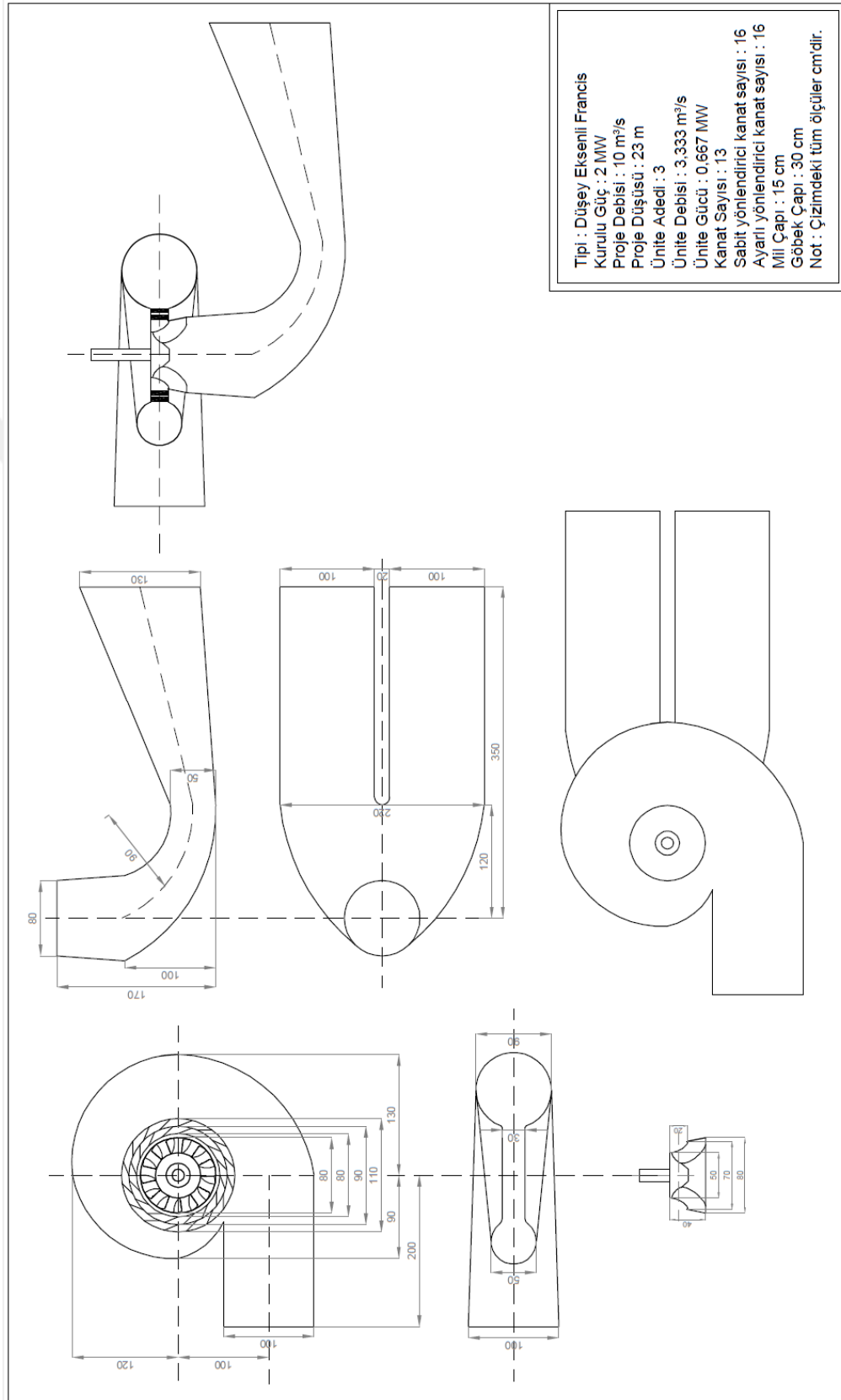
$$\boxed{\sigma_T = 0,33} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Eşitlik (5.78.)'den;

$$\boxed{H_s = 2,3 \text{ m}} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Eşitlik (5.82.)'den;

$\boxed{\text{Türbin eksen kotu} = 153,35 \text{ m}}$ olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla türbin eksen kotu kuyruksuyu kotuyla aynı olarak alınabilir.



Şekil 5.18. Düşey eksenli, üç ünite durumunda Francis türbin konstrüksiyon çizimleri.

Kaplan Türbini tasarımı

Çizelge 5.14. Türbinden elde edilen güç, türbinin özgül hızı, türbinin dönme hızı (üç ünite/Kaplan).

Türbinden elde edilen güç	Türbinin özgül hızı	Türbinin dönme hızı
$Q=10/3=3,333\text{m}^3/\text{s}$ Eşitlik (5.2.)'den $P_t = 1000 \times 9,81 \times 3,33 \times 23 \times 0,9$ $P_t = 676,822 \text{ kW}$ $P_t = 907,618 \text{ BG}$	Eşitlik (5.7.)'den $n_s = \frac{2283}{23^{0,486}}$ $n_s = 497,4 \text{ dev/dk}$	Eşitlik (5.4.)'den $n = 497,4 \cdot \frac{23^{5/4}}{\sqrt{907,618}}$ $n = 831,6 \text{ dev/dk}$

Türbin mil çapının belirlenmesi :

Eşitlik (5.9.)'den

$$d_m = 14,4 \cdot \sqrt[3]{\frac{676,822}{831,6}} \quad \text{ise,}$$

$d_m = 14 \text{ cm}$ bulunur.

Türbin göbek çapının belirlenmesi :

Eşitlik (5.10.)'den

$$d_g = 2 \times 14 \quad \text{ise,}$$

$d_g = 28 \text{ cm}$ bulunur.

Türbin çarkının giriş ve çıkış boyutlarının belirlenmesi :

Türbin çarkı dış çapı eşitlik (5.15.)'den;

$$D_e = 84,5 \cdot \left(0,79 + 1,602 \cdot \frac{497,4}{995} \right) \cdot \frac{\sqrt{23}}{831,6} \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_e = 0,8 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı göbek çapı eşitlik (5.16.)'dan;

$$D_i = \left(0,25 + \frac{0,0951 \times 995}{497,4} \right) \cdot 0,8 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_i = 0,3 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı eksenenden yükseklikleri eşitlik (5.17.), (5.18.) ve (5.19.)'dan;

$$H_e = \left(\frac{6,94}{497,4^{0,403}} \right) \cdot 0,8 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{H_e = 0,5 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

$$H_i = \left(0,38 + \frac{5,17 \times 497,4}{10^5} \right) \cdot 0,8 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{H_i = 0,3 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

$$H_t = \left(0,24 + \frac{7,82 \times 497,4}{10^5} \right) \cdot 0,8 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{H_t = 0,2 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin kanatlarındaki hız bileşenlerinin belirlenmesi :

Eşitlik (5.32.)'den

$$D_{\text{ort}} = \frac{0,8 + 0,3}{2} \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_{\text{ort}} = 0,55 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Çizelge 5.15. Türbinin giriş ve çıkış hız bileşenleri (üç ünite/Kaplan).

Giriş hız bileşenleri	Çıkış hız bileşenleri
Eşitlik (5.28.)'den; $u_x = \frac{\pi \times 0,55 \times 831,6}{60}$ $u_x = 23,9 \text{ m/s}$	Eşitlik (5.28.)'den; $u_x = \frac{\pi \times 0,55 \times 831,6}{60}$ $u_x = 23,9 \text{ m/s}$
Eşitlik (5.29.)'dan; $c_{1m} = \frac{3,333}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,8^2 - 0,3^2)}$ $c_{1m} = 7,7 \text{ m/s}$	Eşitlik (5.33.) ve (5.27.) 'den; $c_{2m} = \frac{3,333 \times 0,98}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,8^2 - 0,3^2)}$ $c_{2m} = 7,6 \text{ m/s}$
Eşitlik (5.30.)'dan; $23 = \frac{1}{0,93} \cdot \left(\frac{23,9 \cdot c_{1ux}}{9,81} \right)$ $c_{1ux} = 8,8 \text{ m/s}$	$c_{2ux} = 0$
Eşitlik (5.31.)'den; $\tan \beta_1 = \frac{7,7}{23,9 - 8,8}$ $\beta_1 = 27^\circ$	Eşitlik (5.34.)'den; $\tan \beta_2 = \frac{7,6}{23,9}$ $\beta_2 = 18^\circ$

Türbin çarkının kanat sayısının belirlenmesi:

Çizelge 5.1.'den;

$z = 7$ adet olarak alınmıştır.

Türbin salyangoz boyutlarının belirlenmesi:

Eşitlik (5.47.)'den;

$$A_k = (0,4 \times 497,4^{0,2}) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{A_k = 1,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.48.)'den;

$$B_k = \left(1,26 + \frac{3,79 \times 497,4}{10^4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{B_k = 1,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.49.)'den;

$$C_k = \left(1,46 + \frac{3,24 \times 497,4}{10^4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{C_k = 1,3 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.50.)'den;

$$D_k = \left(1,59 + \frac{5,74 \times 497,4}{10^4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{D_k = 1,5 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.51.)'den;

$$E_k = \left(1,21 + \frac{2,71 \times 497,4}{10^4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{E_k = 1,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.52.)'den;

$$F_k = \left(1,45 + \frac{72,17}{497,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{F_k = 1,3 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.53.)'den;

$$G_k = \left(1,29 + \frac{41,63}{497,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{G_k = 1,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.54.)'den;

$$H_k = \left(1,13 + \frac{31,86}{497,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{H_k = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.55.)'den;

$$I_k = \left(0,45 - \frac{31,8}{497,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{I_k = 0,3 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Eşitlik (5.56.)'den;

$$L_k = \left(0,74 + \frac{8,7 \times 497,4}{10^4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{L_k = 0,9 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.57.)'den;

$$M_k = \frac{0,8}{2,06 - \frac{1,2 \times 497,4}{10^3}} \quad \text{ise} \quad \boxed{M_k = 0,6 \text{ m}} \text{ olarak bulunur.}$$

Türbin emme borusu boyutlarının belirlenmesi:

Eşitlik (5.68.)'den;

$$N_k = \left(2 - \frac{2,14 \times 497,4}{10^6}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{N_k = 1,6 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.69.)'den;

$$O_k = \left(1,4 - \frac{1,67 \times 497,4}{10^5}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{O_k = 1,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.70.)'den;

$$P_k = \left(1,26 - \frac{16,35}{497,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{P_k = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.71.)'den;

$$Q_k = \left(0,66 - \frac{18,4}{497,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{Q_k = 0,5 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.72.)'den;

$$R_k = \left(1,25 - \frac{7,98 \times 497,4}{10^5}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{R_k = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.73.)'den;

$$S_k = \left(4,26 + \frac{201,51}{497,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{S_k = 3,7 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.74.)'den;

$$T_k = \left(1,2 + \frac{5,12 \times 497,4}{10^4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{T_k = 1,2 \text{ m}} \text{ olarak bulunur.}$$

Eşitlik (5.75.)'den;

$$U_k = (0,51 - 0,0007 \times 497,4) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{U_k = 0,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.76.)'den;

$$V_k = \left(1,1 + \frac{53,7}{497,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{V_k = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.77.)'den;

$$Z_k = \left(2,58 + \frac{102,66}{497,4}\right) \cdot 0,8 \quad \text{ise} \quad \boxed{Z_k = 2,2 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Kavitasyon oluşturmayacak türbin eksen kotunun bulunması :

Pamukova ilçesinin deniz seviyesinden yüksekliği 90 m kabul edilerek Çizelge 5.2.'den ara değer hesabıyla;

$$H_{\text{atm}} = 10,243 \text{ m hesaplanmıştır.}$$

Çalışma suyu sıcaklığı Çizelge 5.4. ve Çizelge 5.5. baz alınarak 25°C kabul edilmiştir. Bu hususta Çizelge 5.3.'den;

$$H_{\text{vap}} : 0,324 \text{ m olarak alınmıştır.}$$

Eşitlik (5.80.)'den;

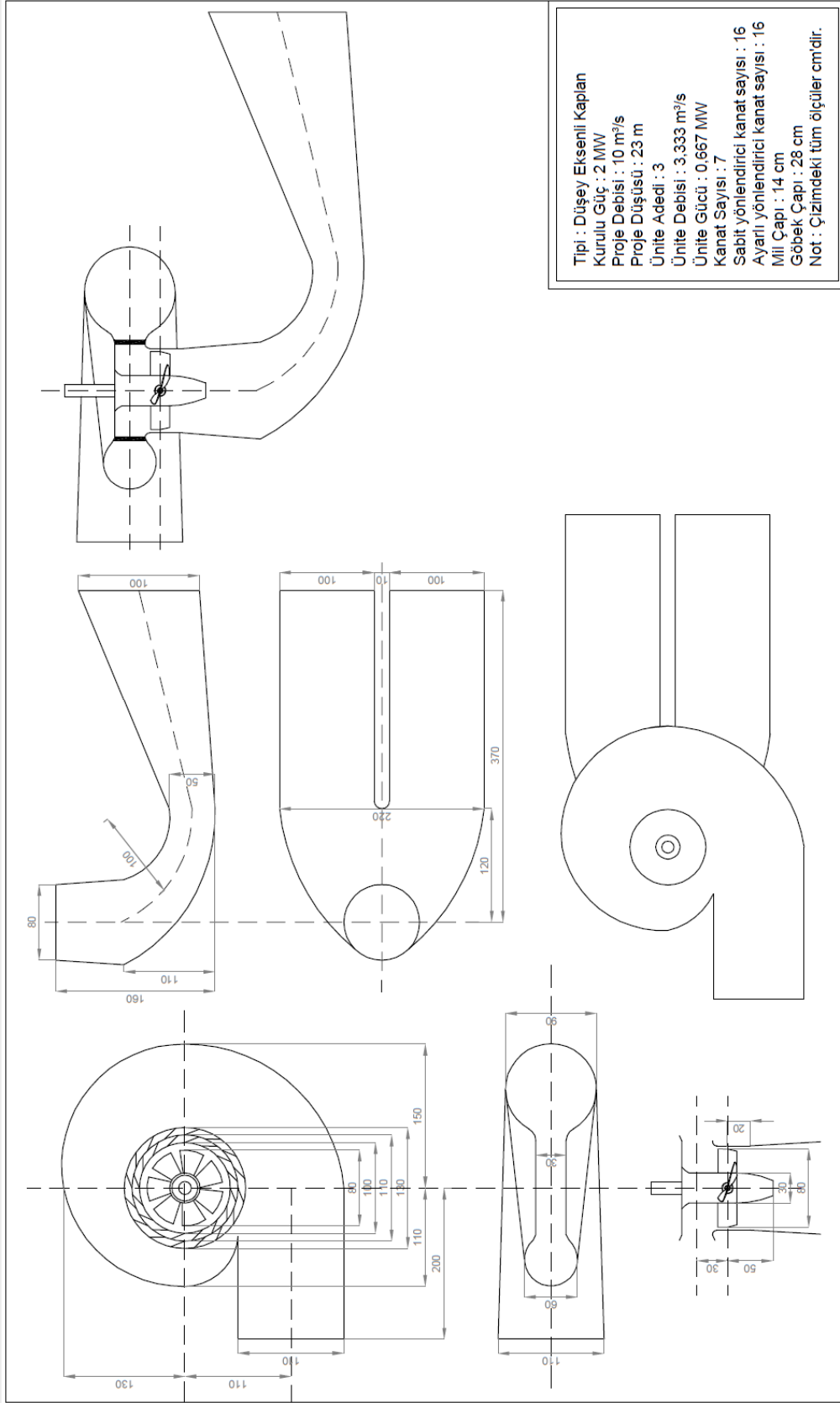
$$\boxed{\sigma_T = 0,55} \quad \text{olarak hesaplanmıştır.}$$

Eşitlik (5.78.)'den;

$$\boxed{H_s = -2,7 \text{ m}} \quad \text{olarak hesaplanmıştır.}$$

Eşitlik (5.82.)'den;

$\boxed{\text{Türbin eksen kotu} = 148,05 \text{ m}}$ olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla türbini kuyuksuyu kotunun altına gömmek gerekecektir.



Şekil 5.19. Düşey eksenli, üç ünite durumunda Kaplan türbin konstrüksiyon çizimleri.

Uskur Türbini tasarımı

Çizelge 5.16. Türbinden elde edilen güç, türbinin özgül hızı ve türbinin dönme hızı (üç ünite/Uskur).

Türbinden elde edilen güç	Türbinin özgül hızı	Türbinin dönme hızı
$Q=10/3=3,333\text{m}^3/\text{s}$ Eşitlik (5.2.)'den $P_t = 1000 \times 9,81 \times 3,33 \times 23 \times 0,9$ $P_t = 676,822 \text{ kW}$ $P_t = 907,618 \text{ BG}$	Eşitlik (5.8.)'den $n_s = \frac{2702}{23^{0,5}}$ $n_s = 563,4 \text{ dev/dk}$	Eşitlik (5.4.)'den $n = 563,4 \cdot \frac{23^{5/4}}{\sqrt{907,618}}$ $n = 941,9 \text{ dev/dk}$

Türbin mil çapının belirlenmesi :

Eşitlik (5.9.)'den

$$d_m = 14,4 \cdot \sqrt[3]{\frac{676,822}{941,9}} \quad \text{ise,}$$

$d_m = 13 \text{ cm}$ bulunur.

Türbin göbek çapının belirlenmesi :

Eşitlik (5.10.)'den

$$d_g = 2 \times 13 \quad \text{ise,}$$

$d_g = 26 \text{ cm}$ bulunur.

Türbin çarkının giriş ve çıkış boyutlarının belirlenmesi :

Türbin çarkı dış çapı eşitlik (5.15.)'den;

$$D_e = 84,5 \cdot \left(0,79 + 1,602 \cdot \frac{563,4}{995} \right) \cdot \frac{\sqrt{23}}{941,9} \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_e = 0,7 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı göbek çapı eşitlik (5.16.)'dan;

$$D_i = \left(0,25 + \frac{0,0951 \times 995}{563,4} \right) \cdot 0,7 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_i = 0,3 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin çarkı eksenenden yükseklikleri eşitlik (5.17.), (5.18.) ve (5.19.)'den;

$$H_e = \left(\frac{6,94}{563,4^{0,403}} \right) \cdot 0,7 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{H_e = 0,4 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

$$H_i = \left(0,38 + \frac{5,17 \times 563,4}{10^5} \right) \cdot 0,7 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{H_i = 0,3 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

$$H_t = \left(0,24 + \frac{7,82 \times 563,4}{10^5} \right) \cdot 0,7 \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{H_t = 0,2 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Türbin kanatlarındaki hız bileşenlerinin belirlenmesi :

Eşitlik (5.8.)'den;

$$D_{\text{ort}} = \frac{0,7 + 0,3}{2} \quad \text{ise,}$$

$$\boxed{D_{\text{ort}} = 0,5 \text{ m}} \quad \text{bulunur.}$$

Çizelge 5.17. Türbinin giriş ve çıkış hız bileşenleri (üç ünite/Uskur).

Giriş hız bileşenleri	Çıkış hız bileşenleri
Eşitlik (5.28.)'den; $u_x = \frac{\pi \times 0,5 \times 941,9}{60}$ $u_x = 24,7 \text{ m/s}$	Eşitlik (5.28.)'den; $u_x = \frac{\pi \times 0,5 \times 941,9}{60}$ $u_x = 24,7 \text{ m/s}$
Eşitlik (5.29.)'dan; $c_{1m} = \frac{3,333}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,7^2 - 0,3^2)}$ $c_{1m} = 10,6 \text{ m/s}$	Eşitlik (5.33.) ve (5.27.) 'den; $c_{2m} = \frac{3,333 \times 0,98}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,7^2 - 0,3^2)}$ $c_{2m} = 10,4 \text{ m/s}$
Eşitlik (5.30.)'dan; $23 = \frac{1}{0,93} \cdot \left(\frac{24,7 \cdot c_{1ux}}{9,81} \right)$ $c_{1ux} = 8,5 \text{ m/s}$	$c_{2ux} = 0$
Eşitlik (5.31.)'den; $\tan \beta_1 = \frac{10,6}{24,7 - 8,5}$ $\beta_1 = 33^\circ$	Eşitlik (5.34.)'den; $\tan \beta_2 = \frac{10,4}{24,7}$ $\beta_2 = 23^\circ$

Türbin çarkının kanat sayısının belirlenmesi:

Çizelge 5.1.'den;

$z = 7$ adet olarak alınmıştır.

Türbin salyangoz boyutlarının belirlenmesi:

Eşitlik (5.47.)'den;

$$A_u = (0,4 \times 563,4^{0,2}) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{A_u = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.48.)'den;

$$B_u = \left(1,26 + \frac{3,79 \times 563,4}{10^4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{B_u = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.49.)'den;

$$C_u = \left(1,46 + \frac{3,24 \times 563,4}{10^4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{C_u = 1,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.50.)'den;

$$D_u = \left(1,59 + \frac{5,74 \times 563,4}{10^4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{D_u = 1,3 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.51.)'den;

$$E_u = \left(1,21 + \frac{2,71 \times 563,4}{10^4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{E_u = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.52.)'den;

$$F_u = \left(1,45 + \frac{72,17}{563,4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{F_u = 1,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.53.)'den;

$$G_u = \left(1,29 + \frac{41,63}{563,4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{G_u = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.54.)'den;

$$H_u = \left(1,13 + \frac{31,86}{563,4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{H_u = 0,8 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.55.)'den;

$$I_u = \left(0,45 - \frac{31,8}{563,4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{I_u = 0,3 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Eşitlik (5.56.)'den;

$$L_u = \left(0,74 + \frac{8,7 \times 563,4}{10^4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{L_u = 0,9 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.57.)'den;

$$M_u = \frac{0,7}{2,06 - \frac{1,2 \times 563,4}{10^3}} \quad \text{ise} \quad \boxed{M_u = 0,5 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Türbin emme borusu boyutlarının belirlenmesi:

Eşitlik (5.68.)'den;

$$N_u = \left(2 - \frac{2,14 \times 563,4}{10^6}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{N_u = 1,4 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.69.)'den;

$$O_u = \left(1,4 - \frac{1,67 \times 563,4}{10^5}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{O_u = 1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.70.)'den;

$$P_u = \left(1,26 - \frac{16,35}{563,4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{P_u = 0,9 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.71.)'den;

$$Q_u = \left(0,66 - \frac{18,4}{563,4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{Q_u = 0,4 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.72.)'den;

$$R_u = \left(1,25 - \frac{7,98 \times 563,4}{10^5}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{R_u = 0,8 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.73.)'den;

$$S_u = \left(4,26 + \frac{201,51}{563,4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{S_u = 3,2 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.74.)'den;

$$T_u = \left(1,2 + \frac{5,12 \times 563,4}{10^4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{T_u = 1 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Eşitlik (5.75.)'den;

$$U_u = (0,51 - 0,0007 \times 563,4) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{U_u = 0,1 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.76.)'dan;

$$V_u = \left(1,1 + \frac{53,7}{563,4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{V_u = 0,8 \text{ m}}$$

Eşitlik (5.77.)'den;

$$Z_u = \left(2,58 + \frac{102,66}{563,4}\right) \cdot 0,7 \quad \text{ise} \quad \boxed{Z_u = 1,9 \text{ m}} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Kavitasyon oluşturmayacak türbin eksen kotunun bulunması :

Pamukova ilçesinin deniz seviyesinden yüksekliği 90 m kabul edilerek Çizelge 5.2.'den ara değer hesabıyla;

$$H_{\text{atm}} = 10,243 \text{ m hesaplanmıştır.}$$

Çalışma suyu sıcaklığı Çizelge 5.4. ve Çizelge 5.5. baz alınarak 25⁰C kabul edilmiştir. Bu hususta Çizelge 5.3.'den;

$$H_{\text{vap}} : 0,324 \text{ m olarak alınmıştır.}$$

Eşitlik (5.81.)'den;

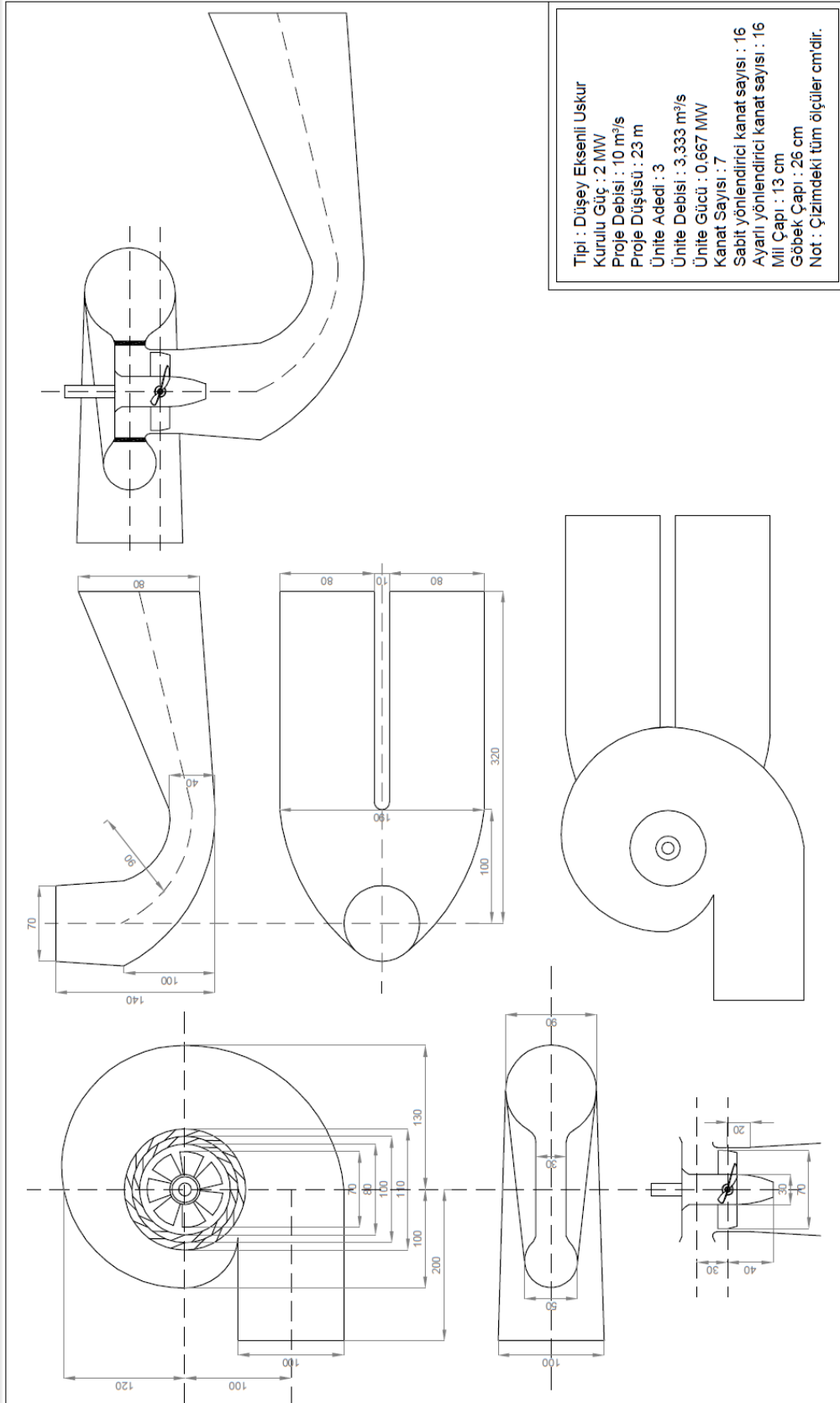
$$\boxed{\sigma_T = 0,57} \quad \text{olarak hesaplanmıştır.}$$

Eşitlik (5.78.)'den;

$$\boxed{H_s = -3,2 \text{ m}} \quad \text{olarak hesaplanmıştır.}$$

Eşitlik (5.82.)'den;

$$\boxed{\text{Türbin eksen kotu} = 147,55 \text{ m}} \quad \text{olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla türbini kuyruksuyu kotunun altına gömmek gerekecektir.}$$

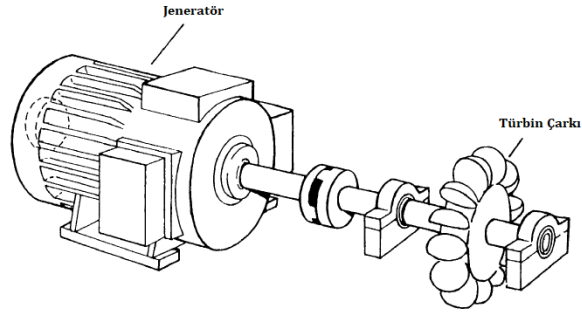


Şekil 5.20. Düşey eksenli, üç ünite durumunda Uskur türbin konstrüksiyon çizimleri.

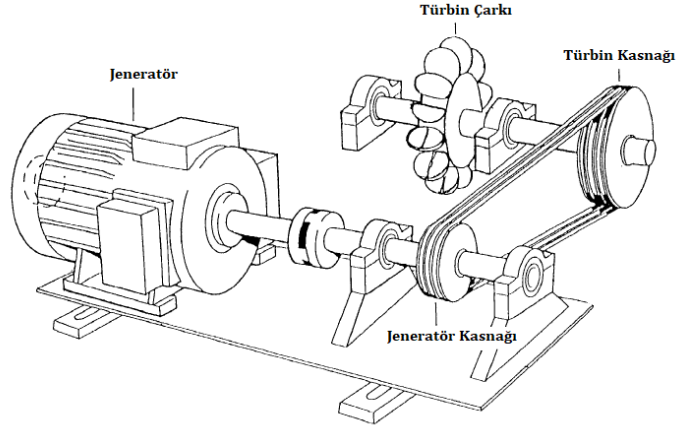
Tasarımı yapılan HES için uygun türbinin belirlenmesi amacıyla dikey eksenli Francis, Kaplan ve Uskurlu olmak üzere üç tip türbin çeşidi ile iki ve üç ünite bazlı olmak üzere tasarım hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, kavitasyon olayının önüne geçebilmek için Francis türbinine nazaran Kaplan ve Uskur türbinlerini kuyruksuyu seviyesinin altına gömmek gerekmektedir. Bu da santral binası kurulumunu zorlaştıracığından inşaat maliyetini artıracaktır. Aynı zamanda Kaplan ve Uskur türbinleri, tipik nehir türbinleri olarak adlandırılır ve düşük düşülerde geniş değişken debi aralıklarında çalışabilmektedir. Ancak bu türbin tiplerinin orta düşülü rezervuarlı santrallere uygulanması bakım ve işletme açısından makul değildir. Kaplan türbinlerinin imalat maliyetleri, kanat formu ve kanat ayarlarında kullanılan servomotorlardan dolayı Francis türbinlere nazaran daha fazladır. Francis türbini değişken debi aralıklarında kanat ayarına ihtiyaç duymadan kendi çalışır. Bu da işletme, bakım ve personel yönünden tasarruf sağlayacaktır. Gölet rezervuarından dolayı debi çok aşırı değişmeyeceğinden maliyet açısından santral binasını gereksiz yere kuyruksuyu kotunun altına gömmek adına ve aynı zamanda santral binasında bakım, işletme ve personel maliyetleri de göz önünde bulundurulduğunda, tasarım sonunda santralde Francis türbin kullanılması uygun olacaktır. İki ve üç ünite durumlarında türbin, salyangoz ve emme borusu boyutlarının birbirine yakın olmasından dolayı maliyetleri de birbirine yakın olacaktır. Başlangıç maliyeti azlığı açısından ünite sayısı iki olarak tercih edilmiştir (Şekil 5.15.). Bu seçimle birlikte türbin salyangozunun bağlanacağı cebri boru, denge bacasından itibaren salyangoz boyutlarına uygun ve türbinlere debiyi eşit bir şekilde paylaştırılması suretiyle düzenlenmelidir. Aynı zamanda cebri boru ile türbin salyangozları arasında uygun çapta vana düzeneği yerleştirilmelidir.

5.2. Jeneratör Seçimi

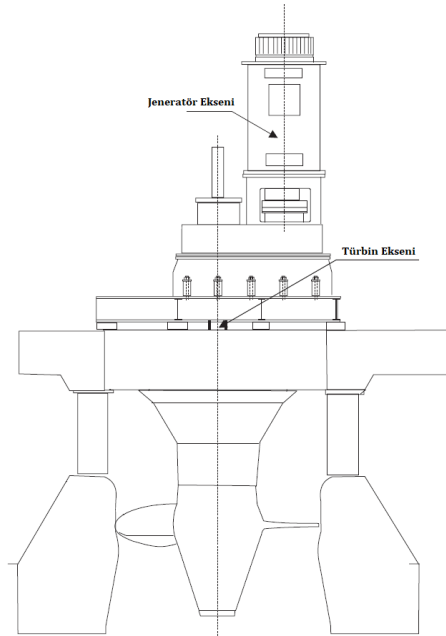
Jeneratör seçimi esnasında bilinmesi gereken önemli hususlardan bir tanesi de türbinin devir sayısı arttıkça türbin ve jeneratör ebatları ile santral binasının boyutları küçülür. Bunun sonucunda da elektromekanik teçhizatın fiyatı azalır. Dolayısıyla bu hususlar göz önünde bulundurulmalıdır. Türbin hızının jeneratör hızında olması durumunda jeneratör direkt olarak türbin miline bağlanır (Şekil 5.21.). Bu tavsiye edilen bir durumdur. Ancak türbin tarafından döndürülen jeneratörler, tipik bir türbinin optimum hızından daha yüksek bir devirde de dönebilirler. Bu bağlantı kayış kasnak (Şekil 5.22.), dişli mekanizması (Şekil 5.23.) veya bir kavrama yardımıyla sağlanır. Burada hız oranının minimum olması tercih edilmelidir. Bu durumda bağlantı daha kolay ve maliyet daha düşüktür olur. Jeneratör hızı eşitlik (5.83)'den hesaplanabilir veya Çizelge 5.18.'den değişik kutup sayıları ve frekanslardan birine uygun olarak seçilebilir.



Şekil 5.21. Türbin rotorunun jeneratöre doğrudan bağlantısı (Harvey, 1993).



Şekil 5.22. Türbin rotorunun jeneratöre kayış kasnak vasıtasıyla bağlantısı (Harvey, 1993).



Şekil 5.23. Türbin rotorunun jeneratöre dişli kutusu vasıtasıyla bağlantısı (ESHA, 2004).

$$n_j = \frac{120 \times f}{p} \quad (5.83.)$$

f : Frekans (Hz)

p : Kutup sayısı (adet)

n_j : Jeneratör hızı (dev/dk) (Harvey, 1993).

Çizelge 5.18. Değişik kutup sayıları ve frekanslar için jeneratör hızları.

Kutup sayısı	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	
Frekans	50 Hz	3000	1500	1000	750	600	500	428	375	333	300	272	250	231	214
	60 Hz	3600	1800	1200	900	720	600	514	450	400	360	327	300	277	257

Devir sayısı 524,7 dev/dk olan 2 ünite Francis türbin için, 2 adet 600 dev/dk ve 10 kutuplu jeneratör kullanılması uygun olacaktır. Jeneratör ve türbin devir sayısı birbirine yakındır fakat yine de bağlantılarını bir dişli kutusu vasıtasıyla yapmak uygun olacaktır. Bu sayede elektrik üretimi açısından devir sayısındaki değişimler etkisiz hale gelerek kararlılık sağlanacaktır.

5.3. Denge Bacası Tasarımı

Baraj rezervuarı ile türbinler arasındaki basınçlı su iletim hattı uzunluğu brüt düşünün üç katından büyük olduğu için (167,3m > 3x24,25m) denge bacası tasarımı yapılması gereklidir. Denge bacası kesiti, basit dairesel olarak tasarlanacaktır. Bu hususta kesit alanı tayini için aşağıdaki bağıntı kullanılacaktır (Cofcof, 2011).

$$F = e \cdot \frac{A \cdot R^{4/3}}{2 \cdot g \cdot n^2 \cdot H_N} \quad (5.84.)$$

F : Denge bacası kesit alanı (m²)

e : Emniyet katsayısı (1,5~1,8)

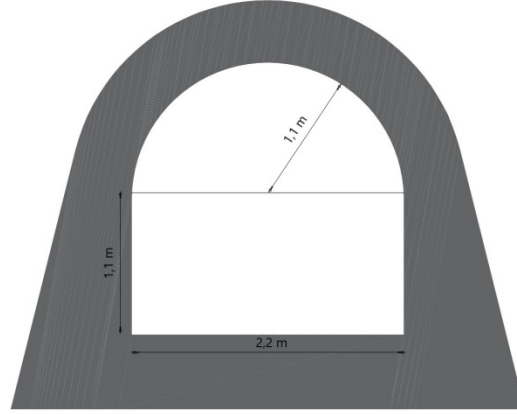
H_N : Net düşü yüksekliği (m)

n_m : Manning pürüzlülük katsayısı (Betonarme tünel kaplaması için $n_m=0,013\sim0,017$)

R : Hidrolik yarıçap (m)

A : Enerji tünelinin iç kesit alanı (m²)

U : Suyun temas ettiği ıslak çevre (m)



Şekil 5.24. Tasarıma esas projenin kondüvi iç ölçüleri (DSİ, 2016b).

Tasarıma esas projedeki kondüvi boyutlarına göre (Şekil 5.24.);

$$A = 4,32 \text{ m}^2 \text{ ve}$$

$U = 7,86 \text{ m}$ olarak hesaplanmıştır.

$$R = \frac{A}{U} \quad (5.85.)$$

Hidrolik yarıçap eşitlik (5.85.)'den;

$$R = \frac{4,32}{7,86} = 0,55 \text{ m} \quad \text{bulunur.}$$

Denge bacası kesit alanı eşitlik (5.84.)'den;

$$F = 38,3 \text{ m}^2 \quad \text{olarak hesaplanmıştır.}$$

Buradan dairesel kesitli denge bacasının çapı;

$$\pi \cdot \frac{D^2}{4} = 38,3 \quad \text{ise}$$

$D = 7 \text{ m}$ olarak hesaplanır.

5.4. Transformator ve Şalt Sahası Seçimleri

Transformator seçiminden önce kullanıldıkları gerilimlere göre şebeke çeşitlerini açıklayacak olursak 4 ana grupta toplandıklarını söyleyebiliriz. Bunlar aşağıdaki şekilde açıklanabilir (MEB, 2011).

- 1) Alçak gerilim şebekeleri
- 2) Orta gerilim şebekeleri
- 3) Yüksek gerilim şebekeleri
- 4) Çok yüksek gerilim şebekeleri

5.4.1. Alçak gerilim şebekeleri

Tanım olarak alçak gerilim şebekeleri 1 volt ile 1000 volt (1kV) arası gerilime sahip olan şebekelerdir. Alçak gerilim şebekeleri dağıtım trafolarından tüketicilere kadar olan elektrik hatlarından oluşur. Alçak gerilimler yalıtımı ve korunması kolay olduğu için tüketicilere yakın kısımlarda kurulur. Bu şebekelerle yapılan iletimlerde gerilim düşümü ve güç kaybı fazla olduğu için alçak gerilimler iletimden ziyade dağıtım şebekelerinde kullanılır. Ülkemizde alçak gerilim, tüketicilerde 220 V ve 380 V olarak kullanılmaktadır.

5.4.2. Orta gerilim şebekeleri

Tanım olarak orta gerilim şebekeleri 1000 volt (1 kV) ile 35 000 volt (35 kV) gerilimler arasındaki şebekelerdir. Orta gerilim şebekeleri yüksek ve çok yüksek gerilim şebekeleri ile alçak gerilim şebekelerinin birbirine bağlanması işleminde kullanılır. Yüksek gerilimlerin direkt olarak tüketicilere verilmesi izolasyon ve güvenlik açısından uygun olmamaktadır. Bu yüzden yüksek gerilimler uygun değerlere indirilerek orta gerilim şebekelerine bağlanır. Orta gerilim şebekeleri küçük şehirler ve sanayi bölgelerine elektrik enerjisinin taşınmasında kullanılır. Orta gerilimler şehirlerin girişindeki dağıtım trafolarına bağlanır. Buradan tüketicilere dağıtılır. Ülkemizde kullanılan orta gerilim şebekelerinde 10, 15 ve 33 kV'lık gerilimler kullanılmaktadır. Orta gerilim şebekelerinde kullanılan enerji nakil hatlarının uzunluğuna göre hat gerilimi tespit edilir. Tecrübeler göstermiştir ki, 10 km'ye kadar olan uzunluklarda 3 ile 10 kV, 20 ile 30 km arasındaki uzunluktaki hatlarda 10-20 kV, 30 ile 70 km arasındaki uzaklıklarda 20-35 kV'luk orta gerilimler, 70 km'yi geçen uzunluktaki hatlarda yüksek gerilimler kullanılması uygun olmaktadır.

5.4.3. Yüksek gerilim şebekeleri

Tanım olarak yüksek gerilim şebekeleri 35 kV ile 154 kV arasındaki gerilimi kullanan şebekelerdir. Yüksek gerilim şebekeleri elektrik enerjisinin üretildiği santrallerden başlayan ve büyük şehirler ile bölgelerin başlangıcı arasında kullanılan şebekelerdir. Yüksek gerilim ile dağıtım yapılmaz. Yüksek gerilimler iletme en uygun gerilimlerdir. Dolayısıyla çok uzak mesafelere enerji iletiminde alçak gerilimlerde güç kaybı çok olurken, yüksek gerilimlerde güç kaybı az olmaktadır. Bu yüzden yüksek gerilimler çoğunlukla iletim şebekelerinde kullanılır. Ülkemizde kullanılan yüksek gerilim değerleri 66 ve 154 kV'dir. Örnek olarak, Kuzey -Batı Anadolu Şebekesi 154 kV'luk gerilimle Güney Anadolu Şebekesi de 66 kV'luk gerilimle beslenmektedir. Yüksek gerilim şebekelerinde, 70-150 Km arasındaki uzaklıklarda 60-100 kV, 150-230 km arasındaki uzaklıklarda 100-154 kV ve 230 km'den uzun hatlarda çok yüksek gerilimler kullanılmaktadır.

5.4.4. Çok yüksek gerilim şebekeleri

Tanım olarak çok yüksek gerilim şebekeleri 154 kV'un üstündeki gerilimi kullanan şebekelerdir. Ülkemizde çok yüksek gerilim olarak 380 kV kullanılmaktadır. Bazı yabancı ülkelerde 500 ve 750 kV'a kadar gerilimler kullanılmaktadır. Çok yüksek gerilim şebekeleri şehirlerarası ve santraller arası bağlantı için tesis edilen şebekelerdir. Ülkemizde Atatürk Barajı'ndan İstanbul'a hatta İzmir'e kadar uzanan 380 kV gerilimli şebekesi mevcuttur. Bursa Ovaakça doğal gaz kombine çevrim santral trafosu çıkışı 380 kV'tur.

Tesisin kendi ihtiyaçları için alçak gerilim(AG) iç transformatör ünitesi, dağıtım için ise orta gerilim(OG) dış transformatör ünitesi gerekmektedir. Bununla bağlantılı olarak da enterkonnekte şebekeye bağlantı için şalt sahası tesis edilmesi gereklidir. Santral binasının yan tarafı giriş tipi ve toprak üstü tipi şalt sahalarına müsait olup maliyeti az oluşu açısından toprak üstü tipi tercih edilebilir.

Ülkemizin tüm elektrik santralleri enterkonnekte şebeke ile birbirine paralel bağlıdır (EK-10). Dolayısıyla herhangi bir santralde arıza meydana geldiğinde sistem kendini dengeler ve böylelikle üretim ve tüketim her an dengede tutulur. Tasarladığımız HES de enterkonnekte şebekeye bağlanacaktır. Enterkonnekte sisteminin avantajlarında bahsedecek olursak; beslemesi süreklidir ve kesintisi azdır, verimi yüksektir ve ekonomiktir. En büyük dezavantajı ise kısa devre akımının fazla olmasıdır.

5.5. Santral Binası Tasarımı

Santral binası projelendirme aşamasında birçok parametreye dikkat etmek gerekir. Bu hususta santral binası içine konuşlandırılacak bütün elemanlar dikkate alınarak santral binası projelendirilmelidir. Türbin, jeneratör, transformatör, personel odaları, mutfak, banyo, kren, kuyruksuyu kanalı, drenaj sistemi, elektrik ve mekanik teçhizat odaları santral binasının boyutlarına etki eden en önemli parametrelerdir.

Bilinen bu parametreler ışığında Şekil 5.25., Şekil 5.26., Şekil 5.27., Şekil 5.28. ve Şekil 5.29.'daki önerilere göre santral plan ve kesit boyutları projelendirilebilir. Bu hususlar dışında santralin veriminden de bahsetmek gerekir. Santral verimi, türbin genel verimi ile jeneratör ve transformatör verimleri çarpılarak hesaplanır.

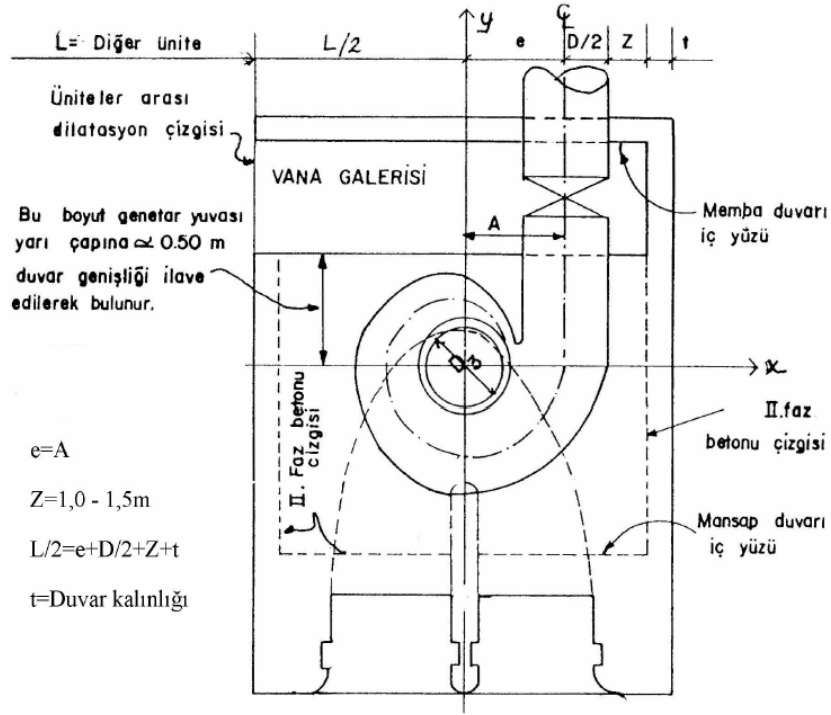
$$\eta_s = \eta_t \cdot \eta_G \cdot \eta_{Tr} \quad (5.86.)$$

Burada jeneratör verimi $\eta_G = 0,96$ ve transformatör verimi $\eta_{Tr} = 0,97$ kabul edilerek;

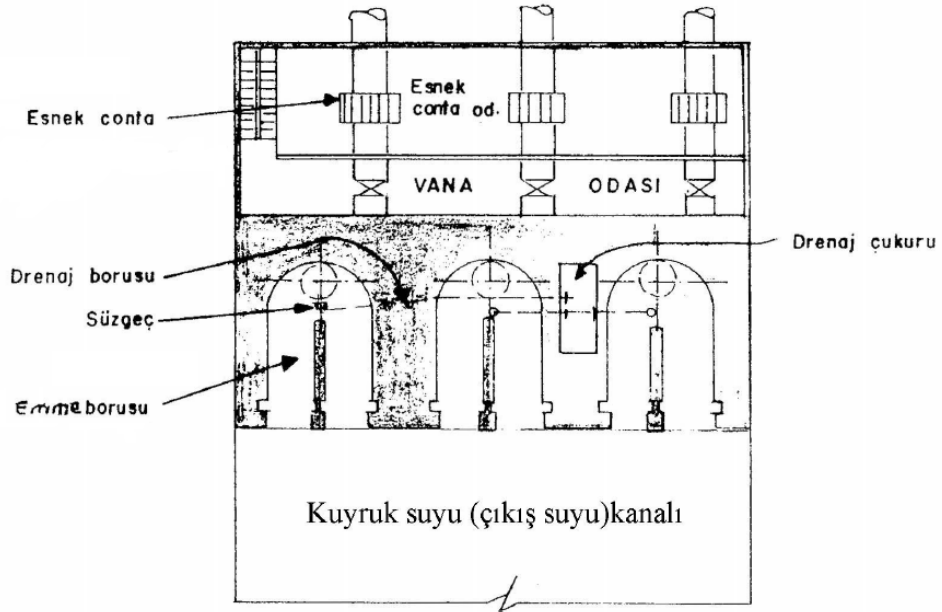
$$\eta_s = 0,9 \times 0,96 \times 0,97 = 0,84 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Santral verimi santralin elektrik üretim kapasitesi hesabında kullanılması gereken bir parametre olarak sonuç kısmındaki maliyet hesabında dikkate alınmıştır.

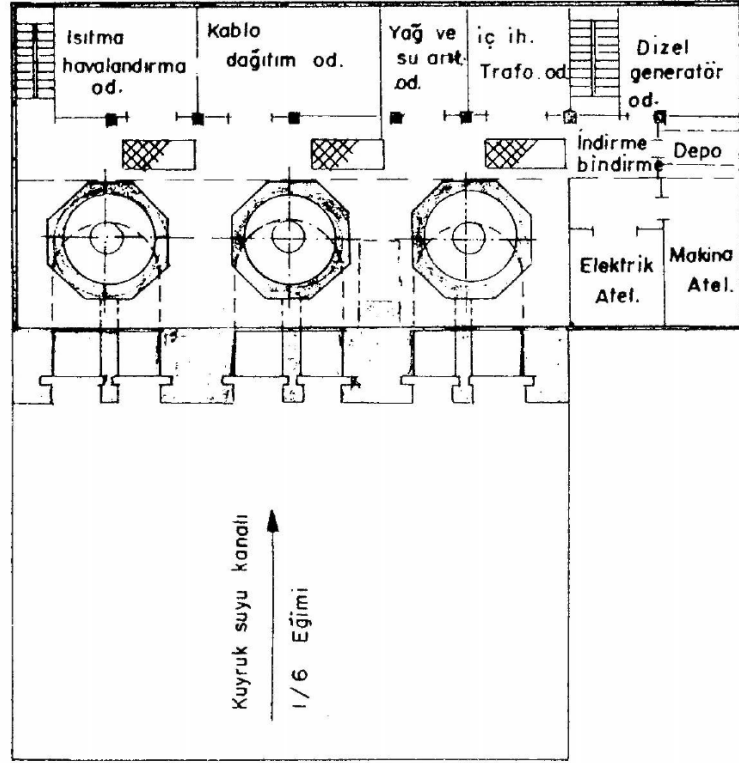
Santral binası boyutlandırılması konusunda mimari detaylara girilmeyerek kabaca plan en ve boyu hesaplanmıştır. Çünkü mimari dizayn tasarımcıdan tasarımcıya ve santral binası içine yerleştirilecek odalar ile istek boyutlarına göre değişiklik gösterecektir. Buradaki amacımız santral binasının mansap sahasındaki öngörülen yere sığabilitesini sorgulamaktır. Şekil 5.25.'ten türbin tasarım ve konstrüksiyon ölçülerine göre bir türbin için gereken minimum alan; $2 \times (1,2 + 0,6 + 1,5 + 0,2) \times 6,4 = 44,8 \text{ m}^2$ olarak bulunur. 2 türbin için ise $89,6 \text{ m}^2$ olur. Bu alanın 1,5 katı kuyruksuyu, 1,5 katı da santral muhtelif odaları olduğu düşünülürse, santralin taban alanı $358,4 \text{ m}^2$ olur. Yapılan bu hesaplamalar sonucunda santral binası ve şalt sahası, yaklaşık üç dönüm olan Şekil 5.3.'deki öngörülen buğday tarlası alanına rahatlıkla yerleştirilebilecektir.



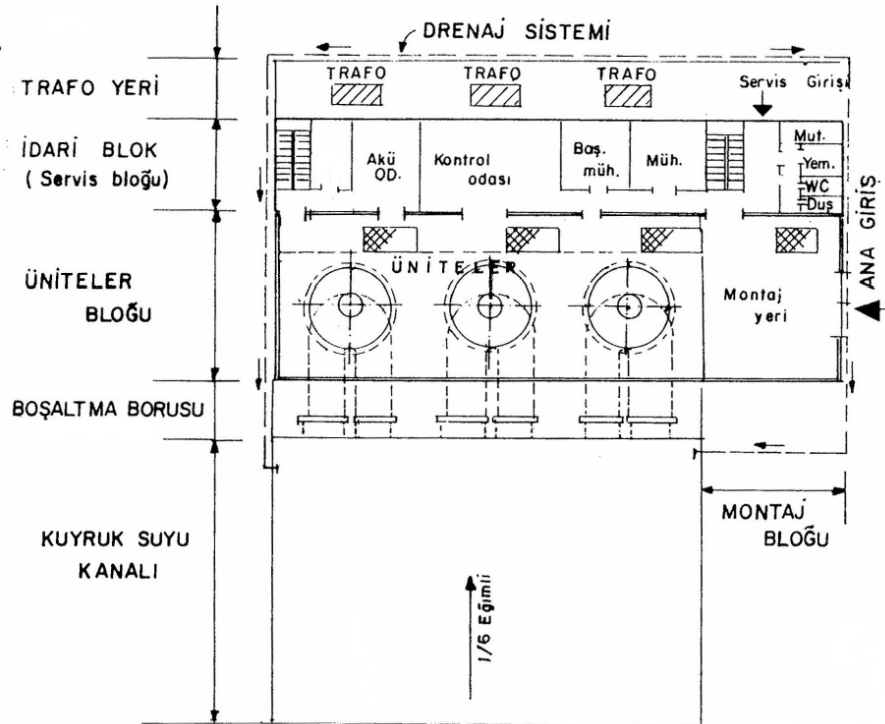
Şekil 5.25. Türbin salyangozu eksen kotu dizayn planı (Başesme, 2003).



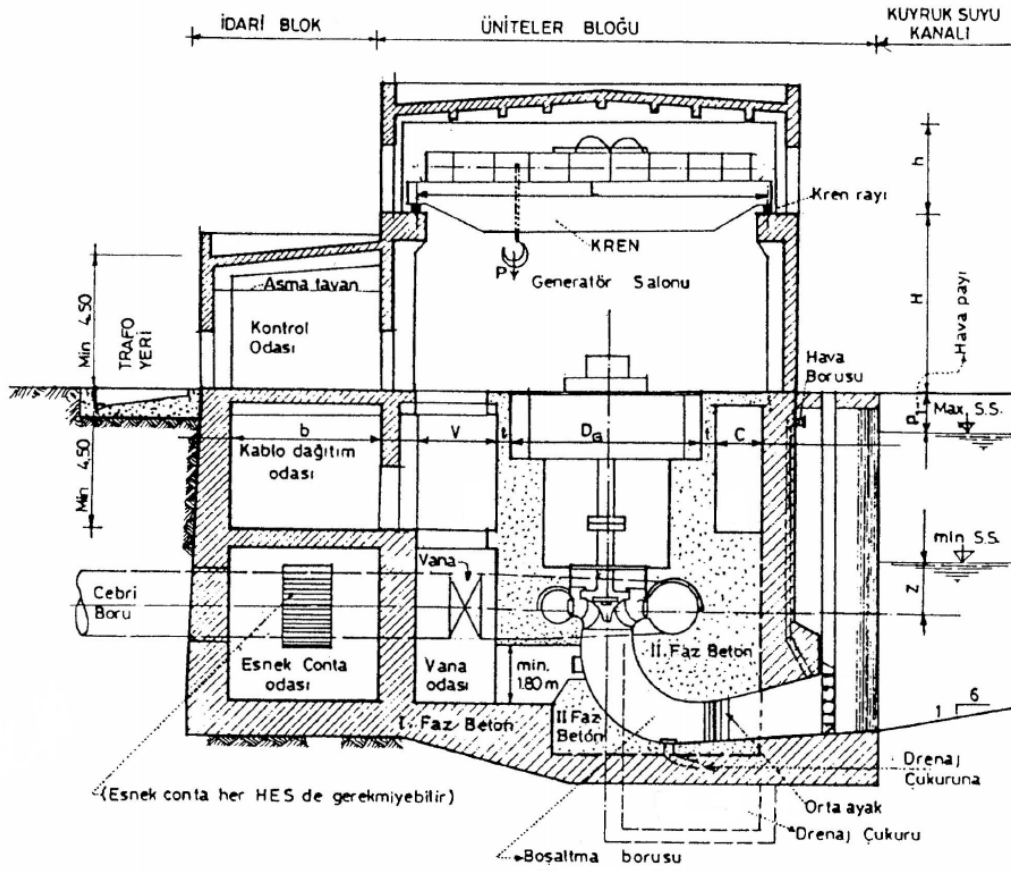
Şekil 5.26. Vana odası kotu dizayn planı (Başesme, 2003).



Şekil 5.27. Türbin kotu dizayn planı (Başşeme, 2003).



Şekil 5.28. Jeneratör kotu ve idari kısım dizayn planı (Başşeme, 2003).



Şekil 5.29. HES binası üniteleri dizayn kesiti (Başışme, 2003).

6. SONUÇ

Ülkemizde şu an faaliyette bulunan, yapım ve proje aşamasında olan sulama amaçlı birçok gölet projesi bulunmaktadır. Orman ve Su İşleri Bakanlığı ile DSI'nin 1000 günde 1071 gölet sloganından hareketle bu projelerin yakın zaman içerisinde hayata geçirileceği tahmin edilmektedir. Aynı zamanda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2023 yılına kadar yaptığı tespitlere göre ülkemizin elektrik enerjisi ihtiyacı günden güne hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu kapsamda, sulama amacıyla yapımı gerçekleştirilecek olan bu göletlerin orta ölçekli hidroelektrik santrale dönüştürülmesi ve elektrik üretim potansiyelinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla Sakarya ili, Pamukova ilçesinde yapımı devam eden Turgutlu Göleti projesi üzerinde bir HES tasarım çalışması yapılmıştır. Bu hususta öncelikli olarak gölet rezervuarı potansiyelinden yararlanılarak, gölet gövdesinin ve mansap sahasının bu yeni elemanların ilavesine uygunluğu incelenmiştir. Daha sonra göletin mevcut elemanlarına HES elemanları dahil edilerek tasarım çalışmaları tamamlanmıştır.

Yapılan hesaplamalar neticesinde gölet rezervuarının ve mansap sahasının bu yeni elemanların teşkili için uygun olduğu belirlenmiş, yeni elemanların tasarımına geçilmiştir. Bu bağlamda ilave edilmesi gerektiği düşünülen denge bacası, türbin, jeneratör, transformatör, şalt sahası, santral binası ve kuyruksuyu yapısı elemanlarıyla ilgili olarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda 2 MW kurulu güce sahip orta ölçekli bir HES tasarlanmıştır. Bu tasarım çalışması içerisinde kilit rolü oynayan türbinler ile ilgili olarak dikey eksenli Francis, Kaplan ve Uskur olmak üzere üç tip türbin çeşidi ile iki ve üç ünite bazlı olmak üzere tasarım hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamaların sonuçları Çizelge 6.1., Çizelge 6.2., Çizelge 6.3. ve Çizelge 6.4.'de gösterilmiştir. Bu sonuçlar aynı zamanda HES tasarımında göz önüne alınması gereken bazı hususları da beraberinde getirmiştir.

Çizelge 6.1. Türbin özgül ve dönme hızı, çark büyüklükleri, kanat sayısı.

Açıklama	Francis		Kaplan		Uskur	
	2 Ünite	3 Ünite	2 Ünite	3 Ünite	2 Ünite	3 Ünite
Özgül hız, n_s (dev/dk)	384,4	384,4	497,4	497,4	563,4	563,4
Dönme hızı, n (dev/dk)	524,7	642,7	679	831,6	769,1	941,9
Çark giriş çapı, D_1, D_i (m)	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3
Çark çıkış çapı, D_3, D_e (m)	1	0,8	1	0,8	0,9	0,7
Çark çıkış dar çapı, D_2 (m)	0,9	0,7	-	-	-	-
Mil çapı, d_m (cm)	18	15	17	14	16	13
Göbek çapı, d_g (cm)	36	30	34	28	32	26
Kanat sayısı, z (adet)	13	13	7	7	7	7

Çizelge 6.2. Türbin giriş ve çıkış hız büyüklükleri.

Açıklama		Türbin		Francis		Kaplan		Uskur	
		2 Ünite	3 Ünite	2 Ünite	3 Ünite	2 Ünite	3 Ünite		
Giriş	Çevresel hız, u_1, u_x (m/s)	16,5	16,8	24,9	23,9	26,2	24,7		
	Mutlak dikey hız, c_{1m} (m/s)	9,5	9,6	7,6	7,7	9,8	10,6		
	Mutlak yatay hız, c_{1u}, c_{1ux} (m/s)	12,7	12,5	8,4	8,8	8,0	8,5		
	Çevresel ile bağlı hız arası açı, β_1 ($^\circ$)	68	66	25	27	28	33		
Çıkış	Çevresel hız, u_2, u_x (m/s)	27,5	26,9	24,9	23,9	26,2	24,7		
	Mutlak dikey hız, c_{2m} (m/s)	5,4	3,3	7,4	7,6	9,6	10,4		
	Çevresel ile bağlı hız arası açı, β_2 ($^\circ$)	11	7	17	18	20	23		

Çizelge 6.3. Türbin salyangozu ve emme borusu büyüklükleri

Açıklama	Türbin	Francis		Kaplan		Uskur	
		2 Ünite	3 Ünite	2 Ünite	3 Ünite	2 Ünite	3 Ünite
Salyangoz Boyutları	A (m)	1,2	1,0	1,4	1,1	1,3	1,0
	B (m)	1,2	1,0	1,4	1,1	1,3	1,0
	C (m)	1,4	1,2	1,6	1,3	1,5	1,2
	D (m)	1,6	1,3	1,9	1,5	1,7	1,3
	E (m)	1,1	0,9	1,3	1,1	1,2	1,0
	F (m)	1,3	1,1	1,6	1,3	1,4	1,1
	G (m)	1,1	0,9	1,4	1,1	1,2	1,0
	H (m)	1,0	0,8	1,2	1,0	1,0	0,8
	I (m)	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3
	L (m)	1,0	0,9	1,2	0,9	1,1	0,9
	M (m)	0,6	0,5	0,7	0,6	0,7	0,5
Emme Borusu Boyutları	N (m)	2,1	1,7	2,0	1,6	1,8	1,4
	O (m)	1,2	1,0	1,4	1,1	1,3	1,0
	P (m)	1,2	0,9	1,2	1,0	1,1	0,9
	Q (m)	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4
	R (m)	1,6	1,3	1,2	1,0	1,1	0,8
	S (m)	4,4	3,5	4,7	3,7	4,2	3,2
	T (m)	1,5	1,2	1,5	1,2	1,3	1,0
	U (m)	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
	V (m)	1,2	1,0	1,2	1,0	1,1	0,8
	Z (m)	2,7	2,2	2,8	2,2	2,5	1,9

Çizelge 6.4. Türbin eksen kotu, emme yüksekliği ve diğer hesap büyüklükleri.

Açıklama	Francis		Kaplan		Uskur	
	2 Ünite	3 Ünite	2 Ünite	3 Ünite	2 Ünite	3 Ünite
Türbin eksen kotu (m)	150,75	150,75	148,05	148,05	147,55	147,55
Kuyruksuyu kotu (m)	150,75	150,75	150,75	150,75	150,75	150,75
Emme yüksekliği, H_s (m)	2,3	2,3	-2,7	-2,7	-3,2	-3,2
Hesap debisi (m^3/s)	5	3,333	5	3,333	5	3,333
Net düşü yüksekliği (m)	23	23	23	23	23	23

Sonuçlar bize göstermiştir ki, kavitezyon olayının önüne geçebilmek için Francis türbine nazaran Kaplan ve Uskur türbinlerini kuyruksuyu seviyesinin altına gömmek gerekmektedir (Çizelge 6.4.). Bu da santral binası kurulumunu zorlaştıracığından inşaat maliyetini artıracaktır. Aynı zamanda Kaplan ve Uskur türbinleri tipik nehir türbinleri olarak adlandırılır ve düşük düşülerde geniş değişken debi aralıklarında çalışabilmektedir, orta düşülü rezervuarlı santrallere uygulanması bakım ve işletme açısından makul değildir. Kaplan türbinlerinin imalat maliyetleri, kanat formu ve kanat ayarlarında kullanılan servomotorlardan dolayı karmaşık bir hal aldığı için Francis türbinlere nazaran daha fazladır. Francis türbini değişken debi aralıklarında kanat ayarına ihtiyaç duymadan çalışabilmektedir. Bu da işletme, bakım ve personel yönünden tasarruf sağlayacaktır. Gölet rezervuarından dolayı debi çok aşırı değişmeyeceğinden maliyet açısından santral binasını gereksiz yere kuyruksuyu kotunun altına gömmek adına ve aynı zamanda santral binasında bakım, işletme ve personel maliyetleri de göz önünde bulundurulduğunda tasarım sonunda santralde Francis türbin kullanılması uygun olacaktır. 2 ve 3 ünite durumlarında türbin, salyangoz ve emme borusu boyutlarının (Çizelge 6.1. ve Çizelge 6.3.) birbirine yakın olmasından dolayı maliyetleri de birbirine yakın olacaktır. Başlangıç maliyeti azlığı açısından ünite sayısının iki olarak tercih edilmesi uygun olacaktır (Şekil 5.15.).

Bir diğ er husus ise ünite sayısı artı kça türbin devir sayısının arttı ğı, türbin devir sayısı arttı kça da çark ve salyangoz boyutları ile diğ er mekanik ve elektrik ekipmanlarının boyutunun küçüldü ğü görülmüştür (Çizelge 5.22., Çizelge 6.1. ve Çizelge 6.3.). Bunlara istinaden aynı debi ve net düşü yüksekliğinde farklı tipteki türbinlerin çark çıkış çapları ile salyangoz ve emme borusu boyutlarının birbirine yakın oldu ğu görülmüştür (Çizelge 6.3.).

Hesaplamalar sonucunda 7 m çapında dairesel bir denge bacası tasarlanmıştır. Denge bacası, türbinlerin ani açılması veya kapanması durumunda enerji tünelineki salınım hareketlerini kendi bünyesi içinde kabarak veya çökerek soğuracaktır. Bir diğ er tasarım sonucu olarak da jeneratör ve transformatör seçimleri yapılmıştır. Bu seçimler sonunda 2 ünite Francis türbin ile çalışacak 2 adet 10 kutuplu 600 dev/dk senkron jeneratör kullanımında karar kılınmıştır. Transformator seçimiyle ilgili olarak ise tesisin kendi ihtiyaçları için alçak gerilim(AG) iç transformator ünitesi, dağıtım için ise orta gerilim(OG) dış transformator ünitesi teşkil edilmiştir. Bununla bağlantılı olarak da dağıtım için şalt sahası tesis edilmesi gereklidir. Santral binasının yan tarafı giriş tipi ve toprak üstü tipi şalt sahalarına müsait olup maliyeti az oluşu açısından toprak üstü tipi tercih edilmiştir. Santral binası, türbin tipinden dolayı yerüstü olarak belirlenmiştir. Kuyruksuyu kotu ise deniz seviyesine göre 150,75 m dir. Yapılan çalışmaların ve hesaplamaların sonuçları özet olarak Çizelge 6.5.'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. Tasarlanan elemanlar ve tasarım sonuçları.

Tasarım Elemanları	Tasarım Sonuçları
Türbin	2 ünite, Düşey Eksenli Francis, $n = 524,7$ dev/dk,
Jeneratör	2 adet, 10 kutuplu, $n_j = 600$ dev/dk
Transformatör	1 adet İç transformatör (AG), 1 adet Dış Transformatör (OG)
Şalt Sahası	Topraküstü
Denge Bacası	Basit dairesel kesitli, iç çapı 7 m
Santral Binası	Yerüstü
Kuyruksuyu Kotu	Deniz seviyesine göre 150,75 m

Ayrıca tasarlanan HES ekipmanları göz önüne alınarak maliyet ve kazanç hesaplamaları da yapılmıştır. Tasarlanmış olduğumuz HES'in elektrik üretim kapasitesi için santral verimi ve santral çalışma saatleri göz önüne alınarak yılda üreteceği elektrik miktarı;

$E = 8830,08$ MWh/yıl olarak bulunmuştur.

Elektrik satışından elde edilebilecek yıllık gelir, kamu kurum ve kuruluşları ile karşılıklı imza altına alınacak sözleşme sonucu net olarak belli olacaktır. Dolayısıyla bu hususta TEİAŞ piyasa raporlarından yapılan araştırma sonucu elektrik satış fiyatı 0,158 TL/kWh (*TEİAŞ, 2018*) olarak kabul edilerek elektrik satışından elde edilebilecek gelir ise;

$S = 1\,395\,152,64$ TL/yıl olacaktır.

Yıllık işletme maliyeti 0,0005 \$/kWh (*İMO, 2015*) olarak alınarak, net kazanç;

$S_N = 1\,378\,375,49$ TL/yıl olarak hesaplanmıştır.

Tesis maliyeti santralin bulunduğu yere, inşaat yapım türüne ve inşaat esnasında karşılaşılabilecek zorluklara göre farklılık gösterecektir. Bu hususta hayata geçirilen hidroelektrik santrallerin birim maliyetleri üzerinden yapılan değerlendirmeler ve çalışmalar sonucunda kW başına düşen tesisin ilk kuruluş maliyetinin 750 - 1200 \$/kW aralığında olduğu belirtilmiştir (*İMO, 2015*). Bu durumda santralin kurulum maliyeti de 9 120 000 TL olarak hesaplanır. Buna bağlı olarak da amortisman süresi ise, 6,6 yıl olarak hesaplanmıştır.

Gölet ömrünün minimum elli yıl olduğu düşünüldüğünde bu geri dönüş süresi tesisin kurulması açısından uygun bir değerdir. Sonuç olarak, ele alınan bölge için tasarımı yapılan HES ve ekipmanları ile ilgili yatırımın yapılmasının gerçekleştirilebilir nitelikte olduğu görülmüştür. Bu açıdan ülkemizde şu an faaliyette bulunan veya yapım, proje aşamasında olan sulama amaçlı diğer gölet projelerine de benzer tasarım çalışmaları yapılarak analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akkurt, M., (2005). *Makina Elemanları Cilt: I-II*. Birsen Yayınevi, İstanbul, 720s.
- Aycaner, C., (2014). *Hidroelektrik Santrallerde Proje Yönetimi (Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, 2014)*.
- Aylı İnce, Ü. E., (2016). *Francis Tipi Türbinlerin Sayısal Yöntemler ile Tasarımı, Parametre Optimizasyonu ve Model Testlerinin Sayısal Alt Yapısının Geliştirilmesi (Doktora Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, 2016)*.
- Başşme, H., (2003). *Hidroelektrik Santraller ve Hidroelektrik Santral Tesisleri (2)*. EÜAŞ Hidrolik Santraller Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Bulu, A., (2009). *Su Mühendisliği El Kitabı*. Okan Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 210s.
- Bulu, A., (2011). *Hidroelektrik Santrallerin Tasarım ve Hesap Esasları (2)*. Okan Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 203s
- Cofcof, Ş., (2011). *Denge Bacaları*. DSİ Yayınları.
- Çallı, İ., (2017). *Uygulamalı Hidrolik Makineler (3)*. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 343s.
- de Siervo, F., de Leva, F., (1976). *Modern Trends in Selecting and Designing Francis Turbines*.
- de Siervo, F., de Leva, F., (1977). *Modern Trends in Selecting and Designing Kaplan Turbines*.
- Demirhan, A. Y., (2006). *Küçük Hidroelektrik Santrallerde Türbin Tasarımı (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2006)*.
- DSİ, (2012). *Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Yapısal Tasarım Rehberi (6)*.
- DSİ, (2016a). *Turgutlu Göleti ve Sulaması Ön Raporu*.
- DSİ, (2016b). *Turgutlu Göleti ve Sulaması Hidrolik, Statik ve Betonarme Hesap Raporu*.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), (2017). *2016 yılı Faaliyet Raporu*.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), (2018a). *Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (PHES) Yol Haritası Çalışmayı*. Ankara.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), (2018b).
- Erdem, M., (2006). *Küçük Hidroelektrik Santrallerin Tasarım Ölçütleri (Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 2006)*.
- European Small Hydropower Association (ESHA), (2004). *Layman's Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site*.
- Glassman, A. J., (1994). *Turbine Design and Application*. Lewis Research Center, National Aeronautics and Space Administration (NASA). Washington.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gulliver, J. S., Arndt, R. E. A., (1991). *Hydropower Engineering Handbook*. Mac Graw - Hill Inc. Minnesota.
- Gümüşel, S., (2007). *Hidroelektrik Santral Kurulumu için Fizibilite Çalışması (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2007)*.
- Güner, E., Tör, O. B., Altın, M., Nadar, A., (2009, KAMAG Proje No: 105G124). *Küçük Hidrolik Santrallerin Projelendirilmesinde Göz Önünde Bulundurulması Gereken Bazı Temel Hususlar*. Yenilenebilir Enerji.
- Harvey, A., (1993). *Micro-Hydro Design Manual*. Intermediate Technology Publications, London, 374p.
- İnşaat Mühendisleri Odası (İMO), 2015. *4. Su Yapıları Sempozyumu (19-20-21 Kasım 2015)*, Antalya.
- Kaya, D., (2007). *Biriktirmeli ve Biriktirmesiz Hidroelektrik Tesislerin Teknik Olarak Karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2007)*.
- Köse, F., (1996). *Türbin Karakteristik Deneyleri ile Kanat Verimliliğinin İyileştirilmesi için Bir Francis Türbin Deney Setinin Kurulması ve Araştırılması (Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, 1996)*.
- Krivchenko, G., (1993). *Hydraulic Machines Turbines and Pumps*. CRC Press, Florida.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), (2018).
- Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), (2011). *Enerji Üretimi, 522EE0124*. Ankara.
- Mosonyi, E., (1991). *Water Power Development Volume Two/A*. Akademiai Kiado, Budapest, 523s.
- Nasir, B. A., (2014). *Design Considerations Of Micro-Hydro-Electric Power Plant*. Renewable Energy.
- Özbay, E., Gençoğlu, M. T., (2009). *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*.
- Özgür, C., (1972). *Su Makinaları Dersleri*. Çağlayan Basımevi, İstanbul, 310s.
- Pancar, Y., (2007). *Hidrolik Makinalar ve Uygulamaları*. Birsen Yayınevi, İstanbul, 267s.
- Pfau, A., (1943). *Hydraulic Turbine Handbook*. Hydraulic Turbine Department, Allis - Chalmers MFG. CO.
- Phitaksurachai, S., Aram, R. P., Sritrakul, N., Tiaple, Y., (2017). *Performance Testing of Low Head Small Hydro Power Development in Thailand*. Emerging Economies.

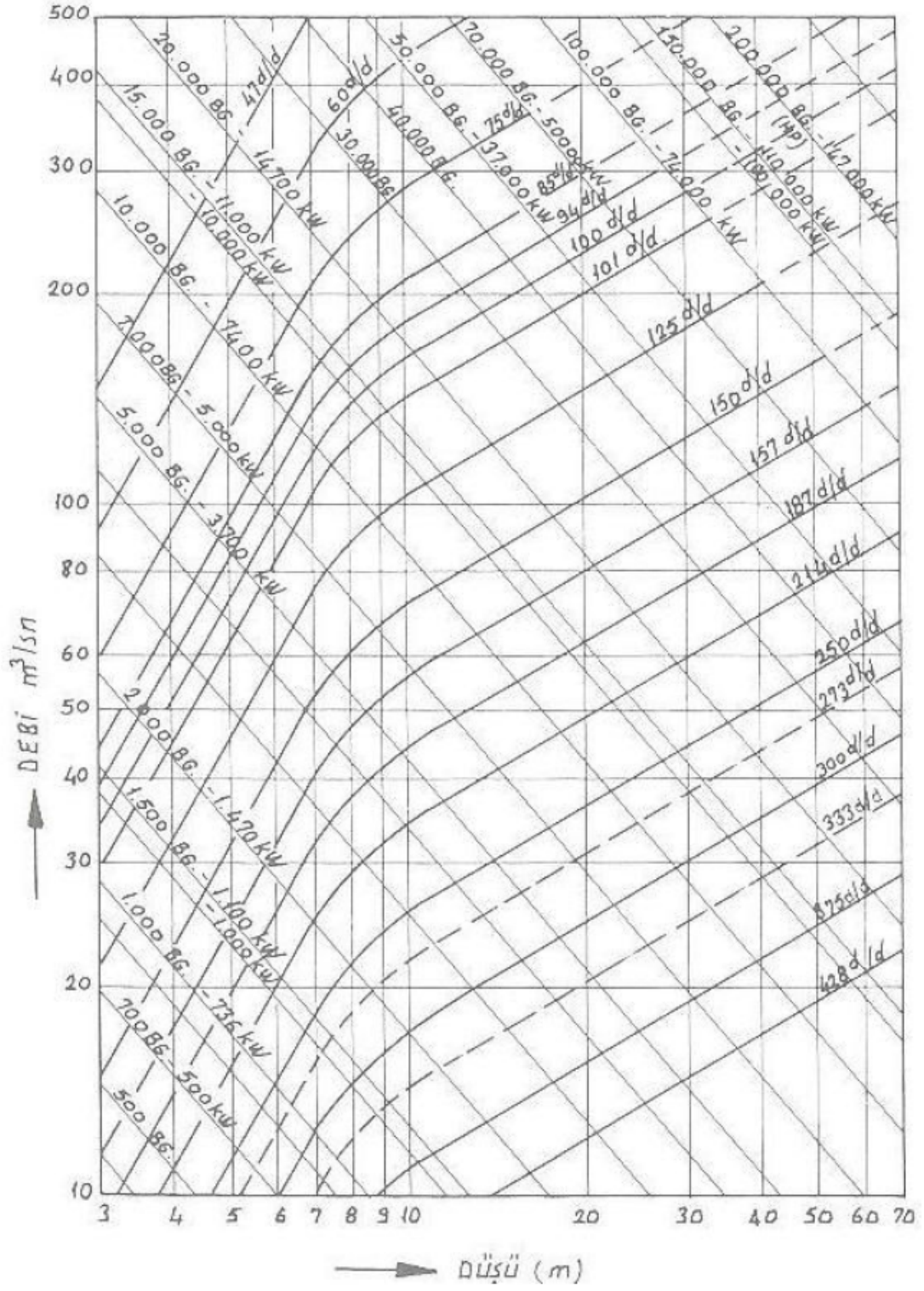
KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Richmond, M. C., Serkowski, J. A., Ebner, L. L., Sick M., Brown, R. S., Carlson, T. J., (2014). *Quantifying Barotrauma Risk to Juvenile Fish During Hydro-Turbine Passage*. Fisheries Research.
- Schweiger, F., Gregori, J., (1985). *Developments in Francis Turbines*.
- Sinagra, M., Sammartano, V., Arico, C., Collura, A., Tucciarelli T., (2014). *Cross-Flow Turbine Design for Variable Operating Conditions*. Water Industry.
- Sözen, A., Keçel, S., Yavuzcan, H. G., (2014). *Francis Türbinlerinde Yönlendirme Kanat Açısının Çark Mukavemetine ve Türbin Verimine Etkisi*. Yenilenebilir Enerji.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), (2017). *Enterkonnekte Elektrifikasyon Haritası*.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), (2018). *Piyasa raporu*.
- United States Department of the Interior, (1987). *Design of Small Dams*. A Water Resources Technical Publication, Washington, 860s.
- Viollet, P. L., (2017). *From the Water Wheel to Turbines and Hydroelectricity Technological, Evolution and Revolutions*. Comptes Rendus Mecanique.
- Warnick, C. C., (1984). *Hydropower Engineering*. Prentice-Hall Inc, (1984).
- Zolotarevich, V. P., Salienko, A. E., Frumen, A. I., Yugov, N. V., (2017). *Numerical and Experimental Research of Natural Frequencies and Mode Shapes for Runner of Francis Turbine*. Fundamentals of Static and Dynamic Fracture.



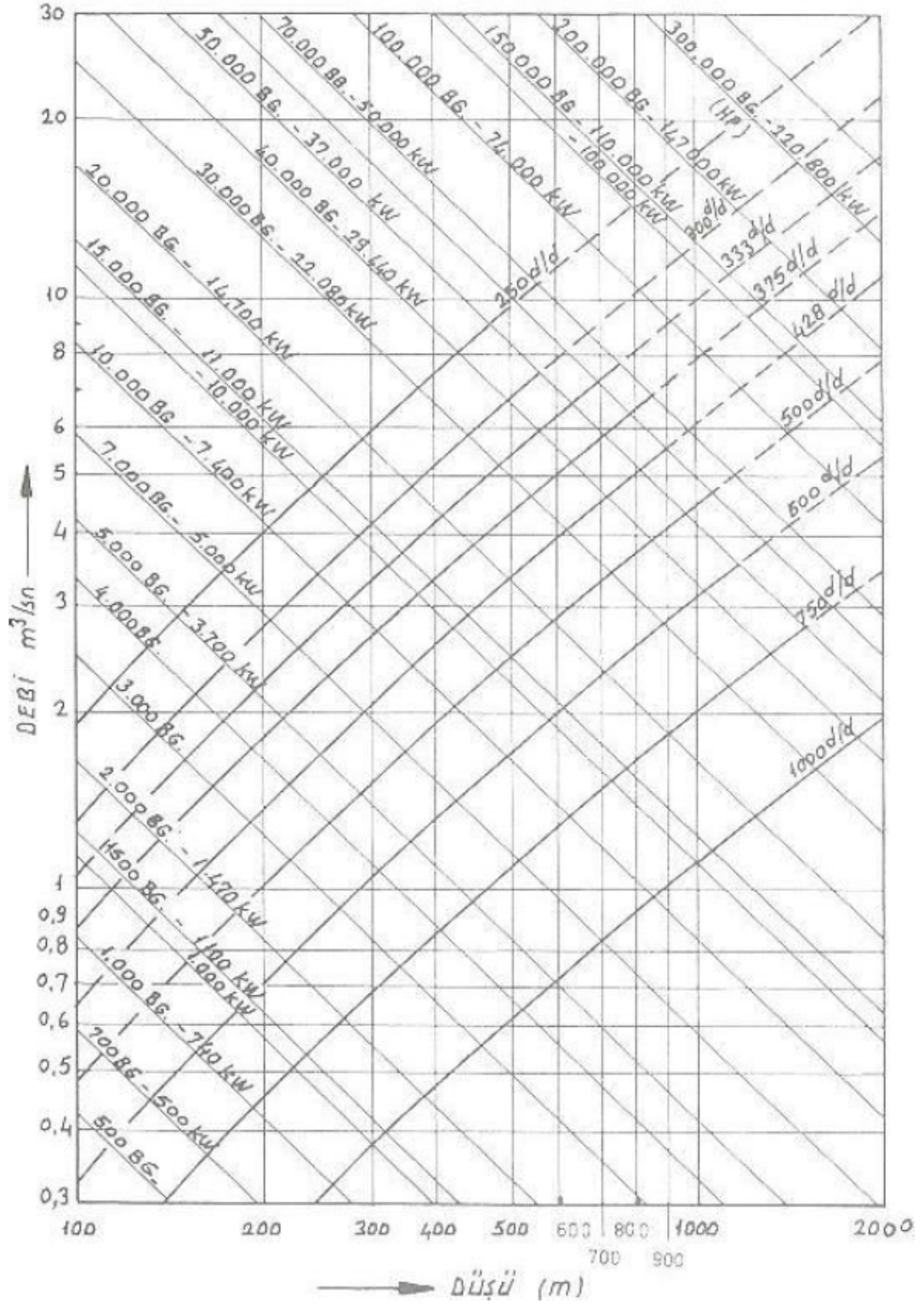
EKLER

EK-1

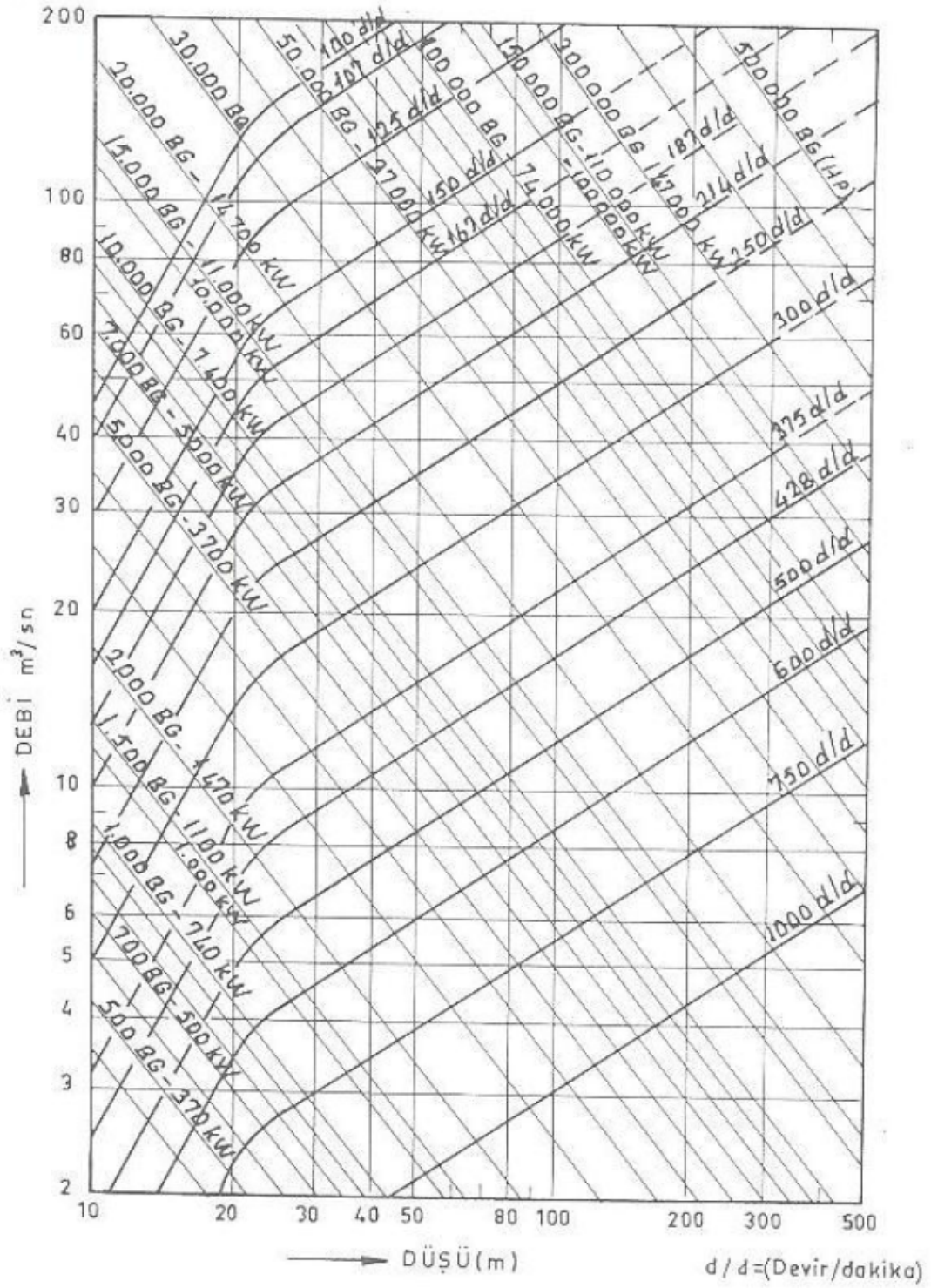


Kaplan türbin tipi için düşü, debi, güç ve devir sayısı ilişkileri (Başesme, 2003).

EK-2

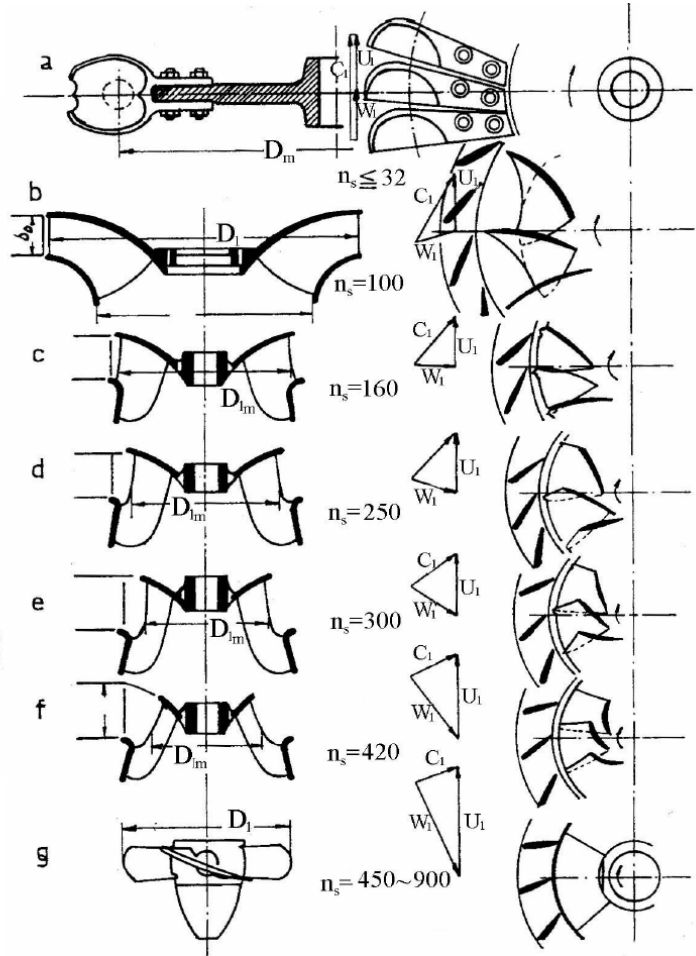
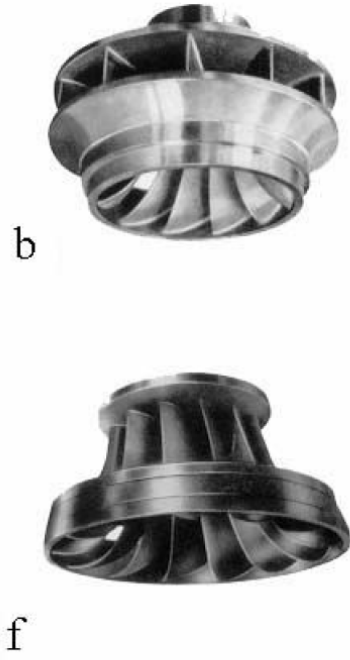


Bir enjektörlü Pelton türbin tipi için düşü, debi, güç ve devir sayısı ilişkileri (Başesme, 2003)

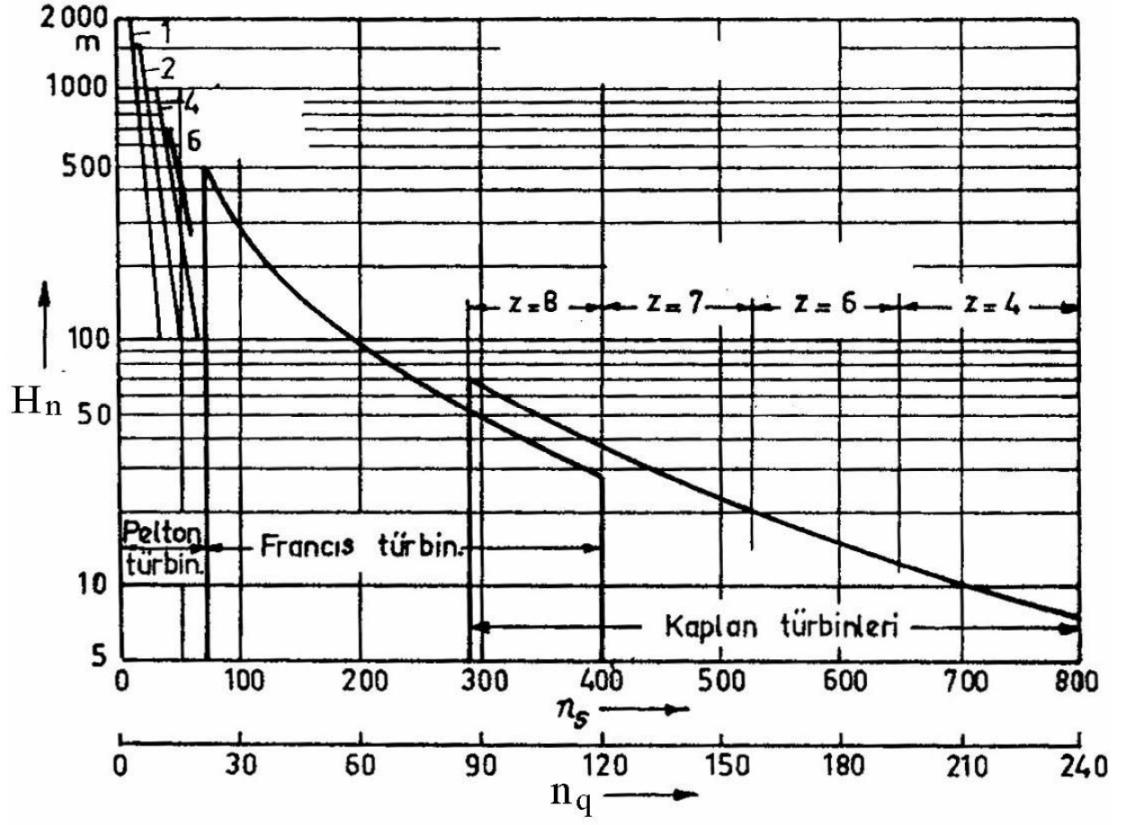


Düşey eksenli Francis türbin tipi için düşü, debi, güç ve devir sayısı ilişkileri (Başesme, 2003).

EK-4

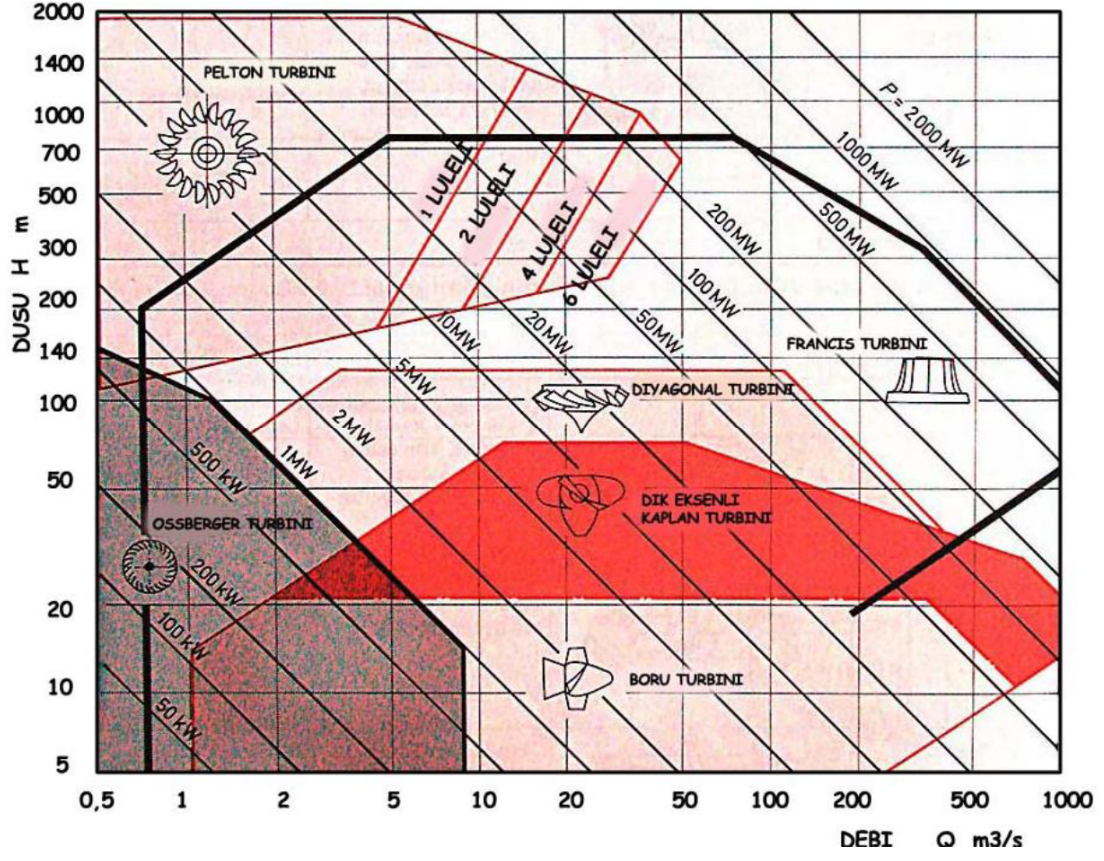


n_s özgül hızının değerine göre türbin rotor tipinin ve şeklinin değişimi (Başışme, 2003).



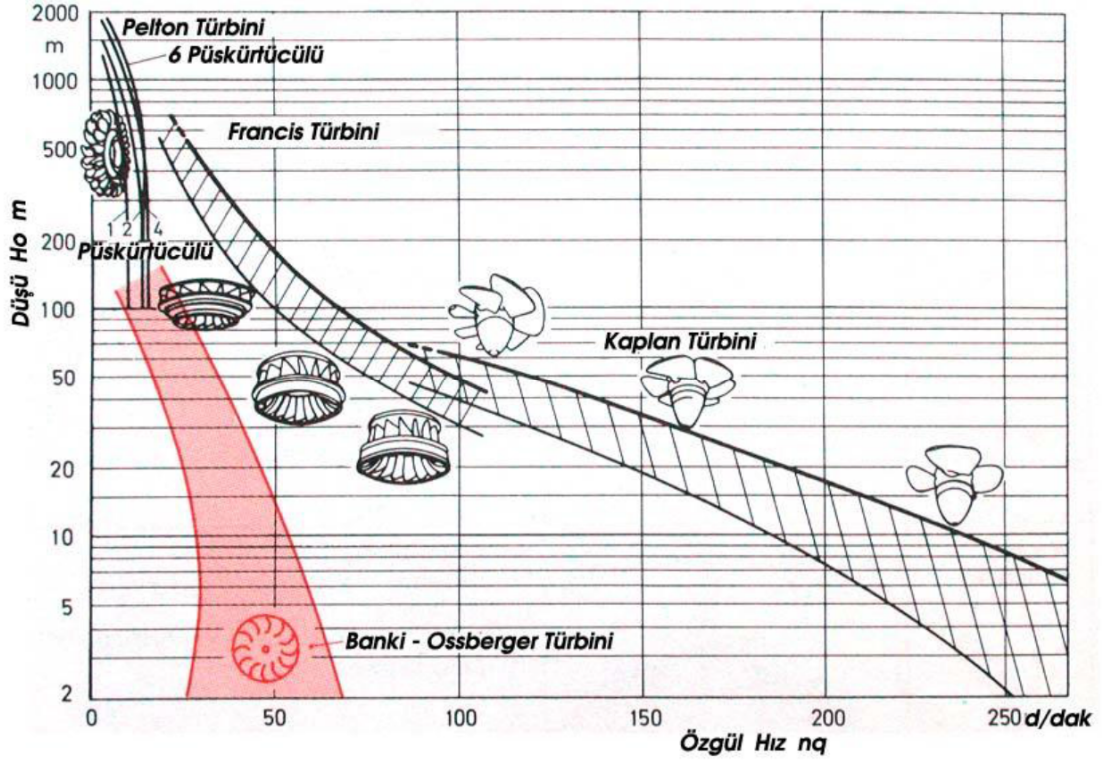
Özgül hıza ve net düşü yüksekliğine göre türbin tipini seçme karakteristik eğrileri (Başşme, 2003).

EK-6

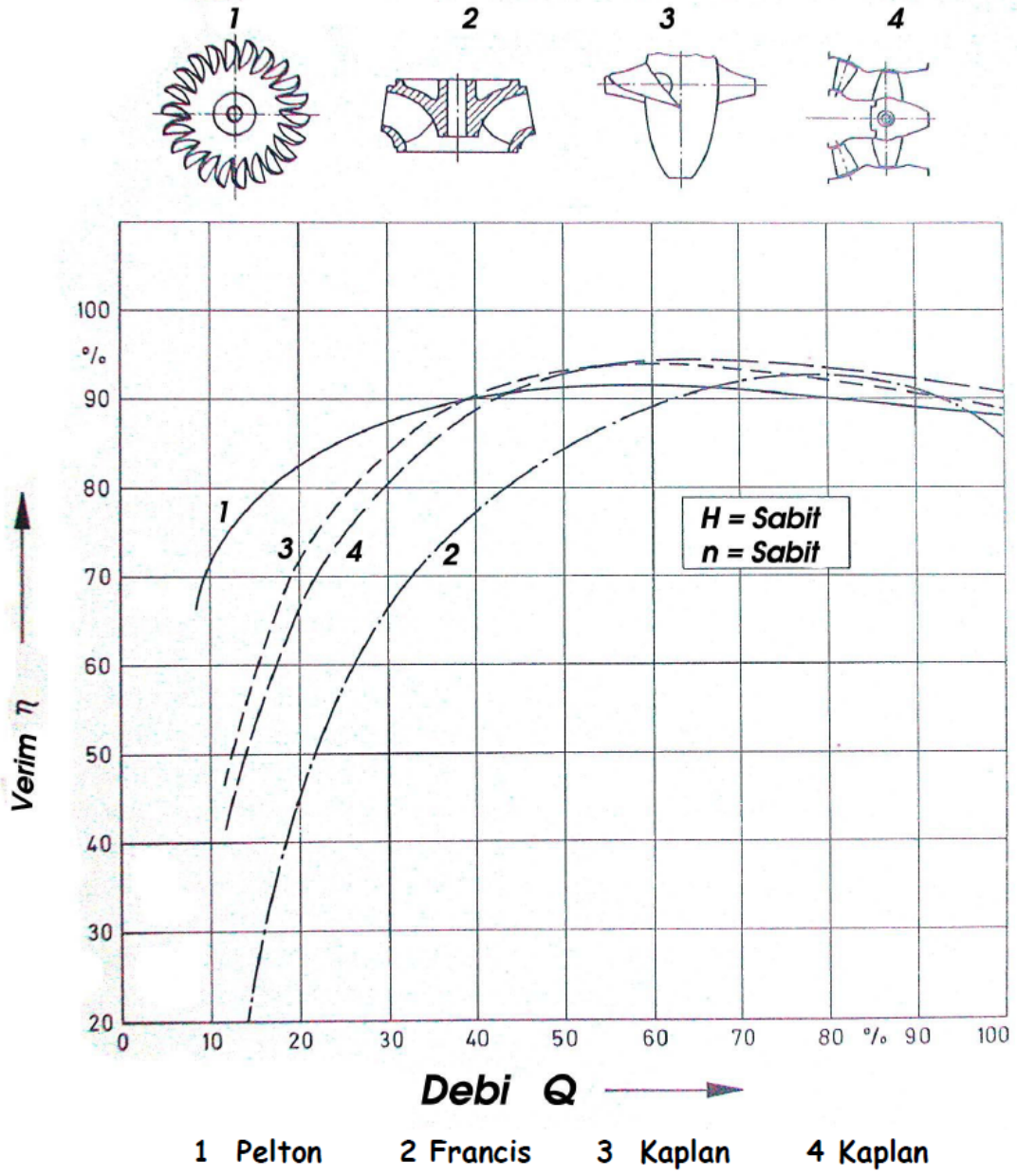


Çeşitli türbin tiplerinin düşü ve debiye göre çalışma bölgeleri (Çallı, 2017).

EK-7

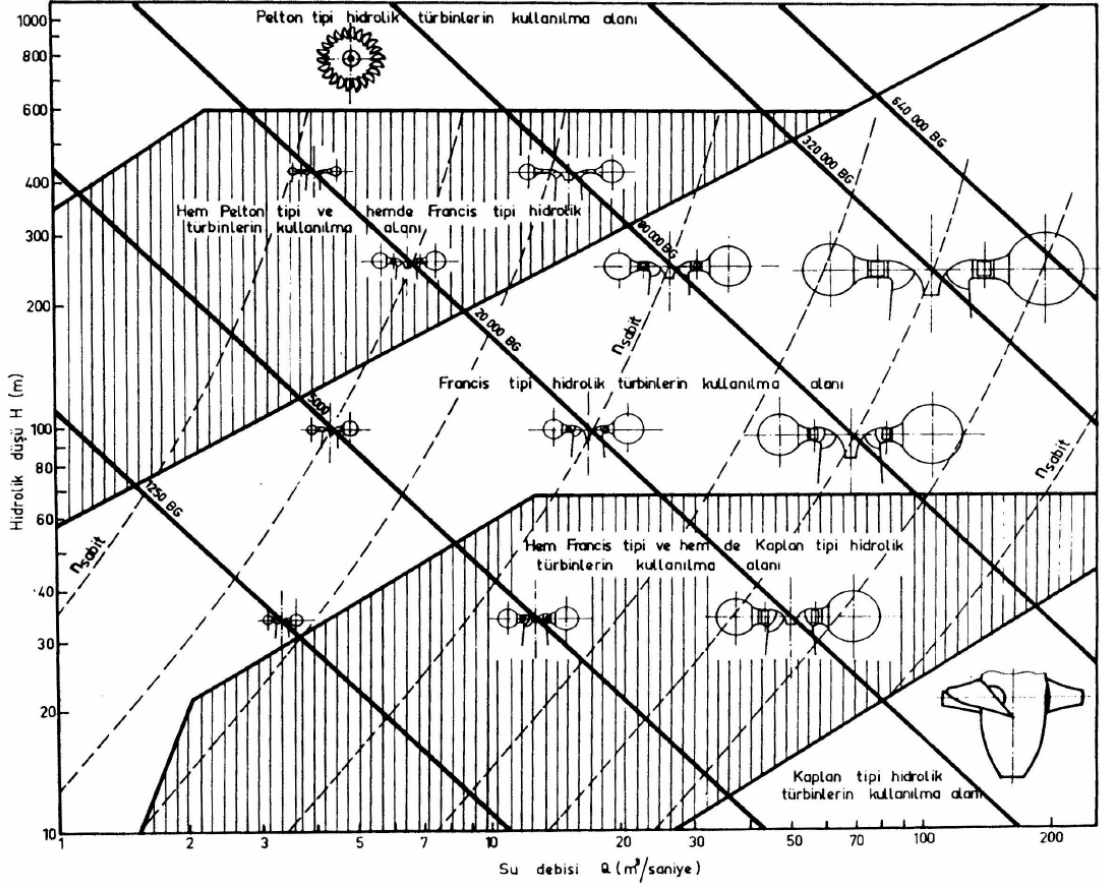


Çeşitli türbin tiplerinin düşü ve özgül hıza göre çalışma bölgeleri (Çallı, 2017).



Su türbinlerinde sabit düşü ve sabit dönme hızında verim değişimleri (Çallı, 2017).

EK-9



Düşü yüksekliği ile su debisi değerlerine göre hidrolik türbinlerin kullanım sahaları (Başesme, 2003).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇETİNKAYA, Sercan
Doğum tarihi ve yeri : 05.07.1988 / Fatih
e-mail : sercan695@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek lisans	DPÜ - Fen Bil. Ens. - Enerji	2018
Lisans	DPÜ - Müh. Fak. - Mak. Müh.	2012
Lisans	DPÜ - Müh. Fak. - İnş. Müh.	2010
Lise	Fatih Davutpaşa Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017	Turizm İnş. Tic. Ltd. Şti.	Şantiye Şefi
2013	Fatih Belediyesi	Kontrol Mühendisi
2012	Ege Sim Yapı İnş. Ltd. Şti.	Şantiye Şefi
2010	Kartaloğlu İnş. Müh. Ltd. Şti.	Proje ve Saha Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, İspanyolca