

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HİDROELEKTRİK SANTRALLERDE TÜRBİN VERİMLİLİĞİNİN TERMODİNAMİK
METOTLA ÖLÇÜLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik Müh. Refik PALA

**HAZİRAN 2007
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HİDROELEKTRİK SANTRALLERDE TÜRBİN VERİMLİLİĞİNİN
TERMODİNAMİK METOTLA ÖLÇÜLMESİ**

Elektronik Müh. Refik PALA

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Elektronik Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :08.06.2007

Tezin Savunma Tarihi :05.07.2007

Tez Danışmanı :Yrd. Doç. Dr. Adnan CORA

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Sefa AKPINAR

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ömer YÜKSEK

Enstitü Müdürü: Prof. Dr.Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2007

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, hidroelektrik santrallerde genel verimliliği etkileyen faktörler ve türbin verimliliği detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Hidroelektrik santral türbin verimliliği ölçümünün yapılması, nasıl değerlendirilmesi ve yapılan hesaplamalar ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Yüksek lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek tezin hazırlanmasında değerli yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Yard. Doç Adnan CORA'ya , ölçme çalışmalarında ekipman ve teknik desteklerinden dolayı Keban HES Danışmanı EDF/EWE ve DOLSAR konsorsiyum firmasına, Keban HES personeline ve iş arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca maddi manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Refik PALA
Trabzon 2007

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLOLAR(ÇİZELGELER) DİZİNİ	X
SEMBOLLER DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Hidrolik Türbin Verimliliği.....	3
1.2.1. Verimliliği Etkileyen Parametreler	4
1.2.1.1. İç Kayıplar.....	4
1.2.1.2. Dış Kayıplar.....	6
1.2.1.3. Türbin Verim Dağ Eğrileri ve İşletme Verimliliği.....	8
1.2.2. Aşınma, Verimliliğe Etkisi ve Aşınma Tamiratu Geçiren Çarklar	10
1.2.3. Türkiye’deki Hidroelektrik Santrallerde Türbin Verimliliğinin Ölçülmesine Neden İhtiyaç Var ?.....	13
1.2.4. Türbin Verimliliği Ölçümü Yapılacak Hidroelektrik Santralın Seçilmesi ve Ölçümün Gerçekleştirilmesi İçin İzlenecek Yol	14
1.3. Türbin Verimlilik Ölçüm Testleri	16
1.3.1. Önemi	16
1.3.2. Standartlar	17
1.3.3. Ultrasonik Metotla Türbin Verimlilik Ölçümü	17
1.3.3.1 Genel.....	17
1.3.3.2 Verim Hesaplama.....	18
1.3.3.3. Verim Ölçme İşlemi	20
1.3.3.4. Ultrasonik Geçiş Zamanlı Debi Ölçümü.....	22
1.3.3.5. Ultrasonik Debi Ölçme Metodu.	22

1.3.3.6.Özgül Su.....	24
1.4. Termodinamik Metotla Verimlilik Ölçümü ve Hesaplamalar.....	25
1.4.1. Termodinamik Metodun Genel İzahı	25
1.4.2. Hidrolik Makinenin Verimi.....	27
1.4.3. Türbin Verimliliğinin Hesaplanması	31
1.4.3.1. Özgül Hidrolik Enerji.....	32
1.4.3.2. Hidrolik Güç.....	33
1.4.3.3. Özgül Mekanik Enerji.....	34
1.4.3.4. Türbin Verimliliği.....	35
1.4.3.5. Hidrolik Türbinde Düşü, Debi, Gücün Bulunması.....	35
1.4.4. Ölçüm Belirsizliklerinin Analizi	37
1.4.4.1 Özgül Mekanik Enerjinin Değerlendirmesinin Belirsizliği.....	39
1.4.4.2 Özgül Hidrolik Enerjinin Değerlendirilmesi İçin Belirsizlik.....	40
1.5. Elektrik Teçhizatlarının Verimliliği.....	43
1.5.1. Generatör Verimi	43
1.5.2. Trafo Verimi	44
1.5.3. Bara ve İletken Kayıpları	46
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	47
2.1. Keban HES’de Termodinamik Metotla Yapılan Testler.....	47
2.1.1. Genel	47
2.1.2. Türbin Teknik Verileri	47
2.1.3. Keban HES’de Yapılan Verimlilik Ölçümleri	47
2.1.4. Ölçüm Metodu ve Uygulaması..	48
2.1.5. Ölçüm Ekipmanları	50
2.1.5.1. Yüksek Basınç Tarafı Ölçüm Probu.....	50
2.1.5.2. Kullanılan Termometre.....	52

2.1.5.3. Basınç Ölçümü.....	53
2.1.5.4. Güç Ölçümü.....	54
2.1.5.5. Atılan Suyun Debisinin Ölçümü.....	55
2.1.5.6. Ölçümün Yapılması ve Ölçülen Verilerin Kaydedilmesi.....	55
2.1.6. Sonuçlarının Değerlendirilmesi	58
3. BULGULAR	59
4. SONUÇLAR VE İRDELEME	63
5. ÖNERİLER	64
6. KAYNAKLAR.....	66
7. EKLER.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	131

ÖZET

Teknolojinin gelişimi ve nüfusun artmasından dolayı enerjiye duyulan ihtiyaç yıldan yıla katlanarak artmaktadır. Enerji kaynaklarının sınırlı veya kaynaktan enerjiye dönüşüm maliyetinin yüksek olması kaynakların verimli kullanılmasının önemini artırmıştır. Bunun için enerji dönüştürücü makinelerin veya cihazların ne kadar enerji kaybına neden oldukları bilinmelidir.

Su türbinlerinin Dünya'daki kullanımı 1970'li yıllarda artmıştır. Günümüzde Türkiye'de 50'den fazla 30 yıldan daha eski büyük su türbini bulunmaktadır. 30 yıl ve daha önce üretilen su türbinleri ile günümüz teknolojisi ile üretilen su türbinleri arasında türbin biçimi farkından kaynaklanan % 3 ila % 5 arasında değişen verim fazlalığı bulunmaktadır. Zamanla çalışan türbin çarklarında aşınmadan (kavitasyon) ve labirent açıklıklarının artmasından kaynaklanan ilave enerji kayıpları da olmaktadır. Rehabilitasyon çalışmalarında çark değişimine karar vermek, zamanla çalışan su türbininin verim kaybını, mevcut sistemin enerji maliyetini ve suyun değerini bulmak için türbin verimliliğinin ölçülmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada suyun potansiyel enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üreten hidroelektrik santrallerdeki (HES) su türbinlerinin verimlilikleri ve verimlilik ölçüm yöntemleri incelenmiş ve bir santralde türbin verimliliği ölçümü yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidroelektrik santral, Francis tipi türbin verimliliği, termodinamik metotla verimlilik ölçümü.

SUMMARY

Turbine Efficiency Measurement of Hydro Electric Power Plant With Thermodynamic Method

Energy requirement has been increasing rapidly every year due to technological development and population increase. Limited energy sources and high energy conversion cost have increased importance of efficiency of the sources. Therefore how much energy converting machines cause energy losses should be investigated.

Use of hydro turbines increased in 1970's in the world. There are more than 50 hydro turbines which are at least 30 years in use Turkey. State of art hydro turbines have 3%-5% more efficiency than the hydro turbines manufactured 30 years ago. Additional losses may occur due to cavitations and increasing labyrinth clearances. Turbine efficiency should be measured in order to decide runner replacement to find efficiency losses, energy cost

In this study efficiency measurement methods at hydro power plant which produce energy from the potential energy of water have been investigated and turbine efficiency measurement in a power plant has been evaluated.

Key Words: Hydro electrical power plant (HEPP), Efficiency of francis type turbine, Measurement of efficiency with thermodynamic methods

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. 1.	Dikey eksenli hidroelektrik santral ünitesinin boyuna kesiti ile francis türbini görüntüsü.....	2
Şekil 1. 2.	Örnek bir türbin verimlilik dağ eğrisi.....	9
Şekil 1. 3.	Bir hidroelektrik santral elamanlarının enine kesit görünümü.....	16
Şekil 1. 4.	Bir yatay eksenli hidroelektrik ünitesi türbinde ultrasonik metotla verimlilik ölçümü prensip şeması.....	20
Şekil 1. 5.	Ultrasonik metotla su akış hızı ölçümü.....	23
Şekil 1. 6.	Direkt metotla kısmi genişleme metodu karşılaştırması.....	26
Şekil 1. 7.	Termodinamik metotla türbin verimi ölçümü prensip şeması	30
Şekil 1. 8.	Termodinamik ölçüm düzeneği şematik gösterimi.....	31
Şekil 1. 9.	Debi ve Güç için akış diyagramı.....	36
Şekil 1. 10.	Termodinamik metot türbin verimlilik ölçümü toplam belirsizlik.....	38
Şekil 1. 11.	Generatör verimlilik eğrisi örneği.....	42
Şekil 1. 12.	Generatör Çalışma Eğrisi.....	43
Şekil 2. 1.	Yüksek basınç probu.....	51
Şekil 3. 1.	Keban örneğinde giriş sıcaklığı düzenli olarak artma veya eksilme yerine izlediği dalgalı seyir grafiği.....	60
Şekil 3. 2.	Keban HES ünite-4 ölçülen verim grafiği	61
Şekil 3. 3.	Keban HES ünite-5 ölçülen verim grafiği.....	61

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.	Keban HES türbin teknik verileri.....	47
Tablo 2.2.	Bir PT 2000 termometre teknik özellikleri	53
Tablo 2.3.	Termometrelere ait sıfır nokta ayar değerleri.....	56
Tablo 3.1.	Ünite 4 ve 5’de 145 m düşüde ölçülen maksimum verim değerleri.....	62
EK 1 Tablo 1.	Keban HES Ünite 5 ölçülen değerler.....	67
EK 1 Tablo 2.	Keban HES Ünite 5 (A) ölçülen değerler	71
EK 1 Tablo 3.	Keban HES Ünite 5 (B) ölçülen değerler.....	78
EK 1 Tablo 4.	Keban HES Ünite 4 ölçülen değerler.....	79
EK 2 Tablo 1.	Keban HES Ünite 5 değerlendirmeler	87
EK 2 Tablo 2.	Keban HES Ünite 5 (A) değerlendirmeler	91
EK 2 Tablo 3.	Keban HES Ünite 5 (B) değerlendirmeler.....	98
EK 2 Tablo 4.	Keban HES Ünite 4 değerlendirmeler.....	99
EK 2-Tablo 5.	Keban HES ünite 4-ünite 5 veri dosyası.....	107
EK 2-Tablo 6.	Keban HES ünite 4-ünite 5 belirsizlik hesaplanmasında kullanılan temel veriler.....	108
Ek 3 Tablo 1.	Keban HES Ünite 5 için yapılan ölçme grubu M5(A) 24 numaralı ölçüm noktası değerleri.....	109
Ek 3 Tablo 2.	KEBAN HES Ünite 5 için yapılan ölçme grubu M5(A) 24 numaralı ölçüm noktası belirsizliği için veriler tablosu.....	117
Ek 4 Tablo 1.	Suyun Özgül Isı Kapasitesi c_p ($J kg^{-1}.K^{-1}$).....	127
Ek 4 Tablo 2.	Suyun Eşsıcaklık Faktörü $\bar{\alpha}$ ($10^{-3} m^3. kg^{-1}$).....	129

RESİMLER DİZİNİ

Resim 1. Keban Hidroelektrik Santralında bir türbin çarkının aşınmaya uğramış bölgesi..	11
Resim 2. Altakış kısmı termometrelerinin vibrasyondan etkilenmeyecek şekilde yerleştirilmesi.....	48
Resim 3. Yüksek basınç probunun menhol kapağına sabitlenmesi.....	49
Resim 4. Altakış kısmı sıcaklık ölçüm düzeneğinin yerleştirilmesi.....	50
Resim 5. Yüksek basınç ölçüm probu.....	52
Resim 6. Basınç transdüserlerinin yerleştirilmesi.....	54
Resim 7. Keban HES verimlilik ölçümünde kullanılan güç ölçüm algılayıcısı.....	55
Resim 8. Keban HES Ünite 4-5 Türbin verimlilik ölçümünde kullanılan kayıt sistemi.....	57

SEMBOLLER DİZİNİ

A	:Türbinden alınan enerji
C	:Sesin sudaki hızı
D	:Yol
D_1	:Türbin rotorunun giriş çapı
E	:Makinenin özgül hidrolik enerjisi
E_g	:Tesisin özgül hidrolik enerjisi
E_i	:Türbine verilen enerji
E_L	:Özgül hidrolik enerji kayıpları
E_m	:Çarktaki özgül mekanik enerji
ETA-corr	:Düzeltilmiş türbin verimi
E_v	:Hidrolik türbinin enerji kayıpları
H	:Türbinin düşüşü
H_g	:Tesisin düşüşü
H_L	:Düşü kayıpları
H_r	:Nominal düşü
L	:Akustik yol uzunluğu
L_R	:Türbin rotorunun su içindeki suyla sürtünmesi nedeni ile meydana gelen kayıp güç.
P	:Makinenin mekanik gücü
P_a	:Generatör çıkışından ölçülen güç
P_b	:Sargı sıcaklıkları dahil olmak üzere generatördeki mekanik ve elektrik kayıplar
P_c	:Generatörden dolayı oluşan taşıyıcı yatak kayıpları
P_d	:Generatör ve türbin haricinde uçar topraklar, dişliler, hava fanları vb. gibi bütün döner elemanların kayıpları,
P_e	:Doğrudan tarikli herhangi bir yardımcı makineye sağlanan güç
P_f	:Türbinden yardımcı ekipmanlara sağlanan elektrik güç
P_G	:Generatör çıkış gücü
P_h	:Hidrolik güç
P_{Lm}	:Mekanik güç kayıpları
P_m	:Çarkın mekanik gücü
P_R	:Nominal düşüdeki güç

P_v	:Harici kayıplar (yataklardan havadan)
P_x	:İç kayıplar
Q	:Debi
Q_1	:İndeks debi
Q_1 veya Q_2	:Referans kesitindeki debi
Q_1 veya Q_2	:Ölçülmüş debi
Q_{1c} veya Q_{2c}	:Referans kesitindeki düzeltilmiş debi
Q_o	:Yüksüz türbin debisi
Q_r	:Nominal düşüdeki debi
T	:Zaman
$T\#$:Sıcaklık
T_{AB}	:Transduser A'dan B'ye doğru ulaşım zamanı(Akıntıya karşı)
T_{amb}	:Çevre sıcaklığı
T_{BA}	:Transduser B'den A'ya doğru ulaşım zamanı (Akıntı yönünde)
V	:Suyun hızı, Hız
Z	:Yükseklik farkı
Z_g	:Tesisin yere göre yüksekliği
Z_i	:Türbin giriş seviyesi
Z_o	:Türbin çıkış seviyesi
Z_r	:Makinenin referans seviyesi
\bar{a}	:Suyun eş sıcaklık faktörü
$\delta_{e_m_{ht}}$:Özgül enerji transferi için ısı transferi düzeltmesi
$\delta_{e_m_{gr}}$:Özgül enerji transferi için sıcaklık dağılımı düzeltmesi
e	:Özgül enerji
e_{cp}	:Termodinamik terim c_p 'nin değerlendirmesi için belirsizlik
e_m	:Özgül mekanik enerji
e_x	:Özgül iç kayıplar
e_h	:Özgül hidrolik enerji
e_p	:Basınçtaki belirsizlik
$e_{m_{p11}}$: p_{11} ölçülen basınç için belirsizlik
e_{p20}	: p_{20} basıncındaki belirsizlik
$e_{\bar{a}}$:Termodinamik terim \bar{a} 'nın değerlendirilmesi için belirsizlik

e_{OW}	:Yüksek basınç tarafı çevresel enerji dağılımı için belirsizlik
e_{UW}	:Alçak basınç tarafı çevresel enerji dağılımı için belirsizlik
$e_{s_{p11}}$: p_{11} indisli sapma belirsizliği
e_T	:Sıcaklık farkı belirsizliği
e_v	:kinetik enerji belirsizliği
e_z	:potansiyel enerji belirsizliği
e_η	:Verim belirsizliği
eta-G	:Generator verimliliği
s_{p11}	: p_{11} basıncı için sapma
s_{T20}	: Sıcaklıkların ölçümü için standart sapma
f_η	:Ölçülen verim için toplam sistemetik belirsizlik
f_{e_m}	:Mekanik enerji için göreceli sistematik belirsizlik
f_{p11}	: p_{11} basıncı için sistematik belirsizlik
f_{e_h}	:Hidrolik enerji için göreceli sistematik belirsizlik
c_p	:Suyun özgül ısısı
h	:Düşü
h_N	:Net düşü
indis 1	:Yüksek basınç referans bölümü ,Türbin giriş kısmı
indis 11	:Üst akış suyunun içindeki prob
indis 1' 1"	:Yüksek basınç ölçüm kesitleri
indis 2	:Alçak basınç referans bölümü, Türbin çıkış kısmı
indis 20	:Serbest altakış su seviyesi kısmı
indis 2' 2"	:Alçak basınç ölçüm kesitleri
indis <i>amb</i>	:Ortam
indis-m	:İlgili sensörden ölçülen değer
indis <i>max</i>	:Maksimum
indis <i>min</i>	:Minimum
indis <i>sp</i>	:Belirlenmiş, Özgün
k	:Deneyle tespit edilen katsayı.
m	:Çıkış kaybının emme borusunda geri kazanılan kısmı
n	:Dönme hızı, devir ,Yüksüz türbin devri

n_i	:İlk devir, başlangıçtaki devir
n_f	:Son devir, bitişteki devir
n_m	:Bir türbinin geçici aşırı devri
$n_{R\ max}$:Bir türbinin maksimum geçici aşırı devri
$n_{m\ max}$:Maksimum karalı aşırı hız devri
p_{abs}	:Mutlak basınç
p_{amb}	:Ortam basıncı
p	:Gösterge basıncı(manometre)
p_i	:İlk (başlangıçtaki) basınç
p_f	:Son basınç
$p_m^+ p_m^-$:Geçici basınçlar
$p_{m\ max}^+ p_{m\ min}^-$:Maksimum / Minimum Geçici basınçlar
p_{atm}	:Atmosferik basınç
$p\#$:Basınç
p_i	:Türbin giriş basıncı
p_o	:Türbin çıkış basıncı
v	:Ortalama hız
\bar{v}	:Suyun özgül hacmi
ΔP_h	:Hidrolik güç düzeltmesi
Θ	:Akustik yolun boru merkezi ile olan açısı
δe_m	: e_m için düzeltme faktörü
γ	:Suyun yoğunluğu
η	:Verim
η_a	:Aritmetik ortalama verim
η_{80}	:Nominal net düşüde garanti edilen 80 [%] yükteki verim
η_{90}	:Nominal net düşüde garanti edilen 90 [%] yükteki verim
η_{100}	:Nominal net düşüde garanti edilen 100 [%] yükteki verim
η_h	:Hidrolik verim
η_G	:Generatör verimi
η_m	:Mekanik verim
η_w	:Ağırlıklı ortalama verim
η_{ref}	:Bağıl verim

η_w :Ağırlıklı ortalama verim
 ρ :Suyun yoğunluğu
 ρQ :Kütleli akış oranı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Hidroelektrik santrallerdeki verimliliğin artırılmasına yönelik çalışmalar; teçhizat verimliliğinin artırılması ve işletme verimliliğinin artırılması olarak iki temel grupta toplanabilir.

Teçhizat verimliliğinin çalışmaya bağlı olarak azalması, modern ve zamanında yapılan etkin bakım teknikleriyle önlenabilir. Teçhizat verimliliği standartlara uygun olarak yapılan periyodik testlerle, işletme değerleriyle izlenebilir; yenileme ve rehabilitasyonlarla artırılabilir.

HES verimliliğinde en büyük rolü olan teçhizat türbinlerdir. Yük ve düşü gibi temel işletme parametrelerinin değişimi diğer teçhizatlara göre türbin verimini daha büyük ölçüde etkiler. Şekil 1.1'de bir hidroelektrik santral ünitesinin kesiti ile Francis türbini gösterilmektedir.

Türkiye'de hidroelektrik üretimin % 60'ını gerçekleştiren Fırat Havzası santrallerine ait model test verim eğrileri incelendiğinde türbin verimlerinin Atatürk ve Keban HES'te % 95.3, Karakaya HES'te % 93 olduğu, generatör ve trafo verimlerinin de günümüz teknolojisiyle elde edilen değerlere çok yakın olduğu görülmüştür[1]. Bu veriler ışığında teçhizatların rehabilitasyonu ile elde edilebilecek verim artışının % 0,7 ile % 4 arasında olabileceği gözlenmektedir. Ancak bu santrallerdeki türbinlerin mevcut verim durumlarının tam olarak ne olduğunu bulmak için türbin saha verimlilik ölçümleri yapılmalıdır. Bu verimlilik ölçümü ile elde edilebilecek verim artışı miktarı daha büyük doğrulukla tahmin edilebilir.

Şekil 1.1'de Hidroelektrik Santral Ünitesinin numaralarla gösterilen elemanlarının adları sırasıyla şöyledir.

- 1-Salyangoz
- 2-Emme borusu
- 3-Francis tipi türbin çarkı
- 4-Yönlendirici sabit kanatlar
- 5-Ayar kanatları
- 6-Generatör rotoru

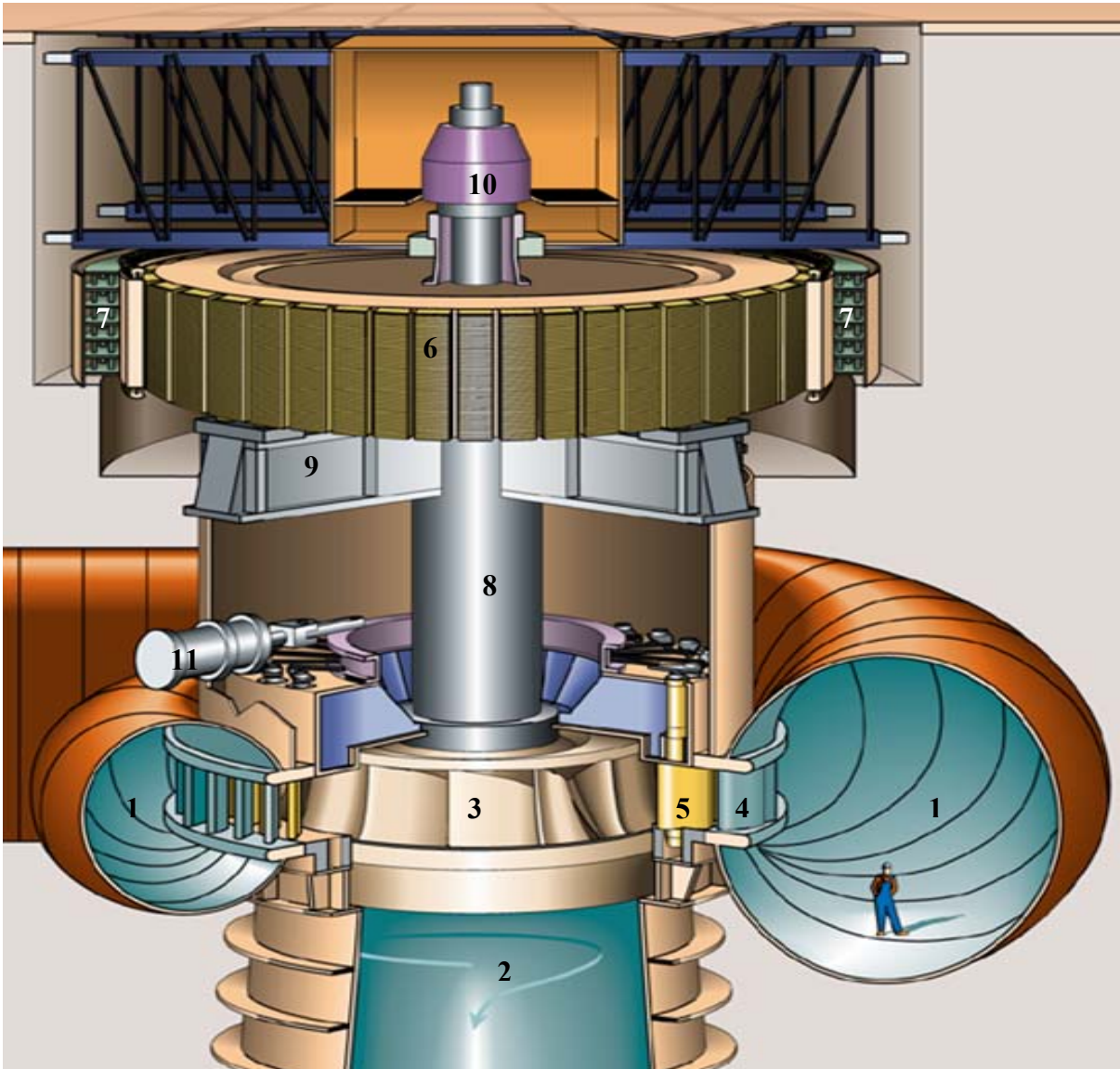
7-Generatör statoru

8-Türbin şaftı

9-Taşıyıcı yatak

10-Statik ikazlı ünitelerde bilezik hücresi dinamik ikazlı ünitelerde DC generatör.

11-Regülasyon servomotoru



Şekil 1.1. Dikey eksenli hidroelektrik santral ünitesinin boyuna kesiti ile Francis türbini görüntüsü

Teçhizat verimliliğini arttırma çalışmalarında yatırım gücüne ve uzun bir zamana ihtiyaç vardır. Bu nedenle yapılacak rehabilitasyon çalışmalarının kârlı olup olmayacağı hususunda ciddi ve detaylı fizibilite çalışmalarının yapılması gereklidir.

Yenileme ve rehabilitasyon, teçhizat performanslarının büyük oranlarda azaldığı ve fonksiyon yetersizliğinin olduğu durumlarda mutlaka yapılmalıdır. Yenilemesi ve rehabilitasyonu yapılacak teçhizatın, yeni teknolojik gelişmelerle modernizasyon ve otomasyonun kolayca uygulanabileceği yerlerde seçilmesi uygulanabilirliği artırır.

Gerek mevcut belgelerdeki verilerin teyidi gerekse son durumlarının tespiti açısından teçhizatların verimlilik ve performans testlerinin mümkün olan en yüksek hassasiyetle ve periyodik olarak yapılması gerekmektedir.

Bu verimlilik ölçümü temel olarak aşağıdaki üstünlükleri sağlar.

- Türbin en yüksekle çalıştırılabilir.
- Tüm enerji üretiminin türbin veriminin maksimum olduğu yükte yapılması sağlanabilir.
- Bütün hidrolik ölçümlerle ilgili verileri içeren bir verimlilik veri kayıt dosyası tutulabilir.
- Türbin verimliliğinde herhangi ani düşüş olduğunda fark edilebilir. (Örneğin yataklardaki anormal bir sürtünmeyi fark etme)
- Türbin verimlilik azalmasına göre bakım planlaması yapılabilir.

1.2. Hidrolik Türbin Verimliliği

Tüm makinelerin olduğu gibi hidrolik türbinlerin de belirli işletme bölgelerinde ve belirli işletme koşullarında en yüksek verimle çalışmaları gerekir. Hidrolik türbinlerin mümkün olabilen en yüksek verimle çalışmaları için enerji kayıpların küçük tutulması gerekir. Türbin verimi (η) genel olarak (1) eşitliğindeki gibi ifade edilir.

$$\eta = \frac{A}{E} = \frac{E - E_v}{E} \quad (1)$$

Burada; A, türbinden alınan kullanılabilir iş E, türbine verilen enerjiyi göstermektedir.

Hidrolik türbinlerde iç kayıplar, dış kayıplar ve türbinlerin aşırı yüklerde veya düşük yüklerde çalıştırılmaları nedenleri ile büyük enerji kayıpları meydana gelebilir. Meydana

gelen bu kayıpların büyüklüğüne, türbinin büyüklüğü, tipi ile orijinal proje biçimi, imalatı ve yapılan işletmenin iyilik derecesi büyük ölçüde etki eder [1] .

1.2.1. Verimliliği Etkileyen Parametreler

1.2.1.1. İç Kayıplar

Suyun temas ettiği yüzeylere sürtünmesi ile oluşan sürekli yük kayıpları (su debisi kayıpları), boru dirseklerinde ve türbin içinde yön değiştirmesi ile akış kesitlerindeki değişimler (hidrolik akım kayıpları), ve çıkış kayıpları iç kayıplar, yersel yük kayıpları olarak adlandırılır [2] .

Su debisi kayıpları: Yalnız Francis tipi hidrolik türbinlerle Kaplan tipi hidrolik türbinlerde rotor dönme boşluklarından sızan kaçak sular nedeni ile meydana gelir. Türbin ayar kanatları arasından gelen su debisi (Q) ve rotorun çevresindeki dönme boşluklarından sızan su debisi (Q_σ) türbin rotorunun kanatları arasına giren tahrik suyunun debisi (Q_i) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} Q_i &= Q - Q_\sigma \\ &= (1 - Q_\sigma / Q) \\ Q_i &= (1 - \sigma) \cdot Q \end{aligned} \quad (2)$$

Burada; (σ), türbin dönme boşluklarından sızan su debisinin normal debiye oranıdır.

Türbin rotoru dönme boşluklarından kaçan (Q_σ) su debisi nedeni ile türbin gücünde (N_σ) bir azalma meydana gelir. Kaçak su debisinin azaltılabilmesi için rotor dönme boşluklarının mümkün olduğu kadar küçük yapılması veya labirentler kullanılması yoluna gidilmektedir. Ancak türbin-generatör şaftlarında meydana gelebilecek elastik şekil değiştirmeler (elastik bükülmeler) esnasında türbin rotorunun sabit kısımlara çarpması tehlikesinin mümkün olması nedeni ile dönme boşlukları belirli bir değerden daha küçük yapılamamaktadır.

Kaçak su debisinin nominal su debisine oranı (σ_n), özen gösterilerek projelendirilen ve imalatı yapılan olan tesislerde 0,01 -0,04 değerlerine kadar azaltılabilir.

$$\sigma_n = \frac{Q_\sigma}{Q_n} \cong 0,01 - 0,04 \quad (3)$$

Burada 0,01 gibi değerler labirentli büyük türbin rotorları için olup, 0,04 gibi değerler ise labirentsiz küçük türbin rotorları içindir.

Hidrolik akım kayıpları: Türbin ayar kanatlarının yerleştirildiği ayar kanatları çemberi kanalı, türbin rotoru kanatlarının aralıkları ve türbin emme borusu, hidrolik akım kayıplarının incelenmesi yönünden, düz bir boru donanımı ile kabaca mukayese yapılabilir. Francis ve Kaplan tipi hidrolik türbinlerin ayar kanatları çemberlerinin kanalları çapı daralan bir boru donanımı ile, Kaplan ve Francis tipi türbinlerin rotor aralıkları daralan ve dönen bir kanal ile, emme boruları ise çapı genişleyen dirsekli bir boru donanımı ile karşılaştırılarak incelenebilir.

Bir türbinden geçen su debisi $Q = 0$ ile $Q = Q_{max} = 1,3 Q_n$ değerleri arasında değişebilir. Su akımının, ayar kanatları çemberi aralıkları ile ayar kanatlarında hızı artar, türbin rotoru kanatlarının aralıklarındaki hızı daha da artar ve yönü değişir. Emme borusunda ise hızı azalır. Su akımının, ayar kanatları çemberi aralıklarında, ayar kanatları aralıklarında ve türbin rotoru kanatlarının aralıkları ile emme borusunda sürtünmeler, yn değiştirmeler ani enerji değişimi gibi nedenlerle meydana gelen hidrolik akım dirençlerini yenmesi gerekmektedir.

Türbinlerde meydana gelen sürtünme kayıpları ile dirsek kayıpları ve enerji kayıpları, genel olarak hidrolik akımın sınır tabakasının kalınlığına bağlıdır. Bu sınır tabakası boru hatlarının i yüzeylerinde türbinlerde ise suyun temas ederek geçtiği bütün yüzeylerde meydana gelmektedir. Sınır tabakasının meydana geldiği bölgelerde de genellikle türbülanslı bir hidrolik akım mevcuttur.

Sınır tabakasının değeri, bilhassa hızlanan hidrolik akımların meydana geldiği yüzeylerin pürüzsüz hale getirilmesi ile küçültülebilir. Buna karşın, hidrolik akım yavaşladığı yerlerde, keskin köşeli dirseklerde ve ani kesit değişmelerinde sınır tabakasının kalınlığı artmakta ve sınır tabakasında çözülmeler meydana gelmektedir. Sınır tabakasındaki çözülmeler, türbin emme borusunda hız enerjisinin basınç enerjisine dönüşmesinde kayıplarının ve dirseklerde ise kayıplarının meydana gelmesine neden olmaktadır.

Hız enerjisi ve basınç enerjisi kayıpları, emme borusu genişleme kayıplarının küçük tutulması ve dirseklerdeki eğrilik oranı değerinin büyük seçilmesi ile küçültülebilir.

Hidrolik akım kayıplarından bir tanesi de türbin ayar kanatlarından çıkan suyun türbin rotoru kanatlarına uygun bir açı ile girememesi nedeni ile meydana gelen hidrolik çarpma veya hidrolik darbe kayıplarıdır. Bu kayıplar Francis tipi hidrolik türbinlerin özellikle düşük yüklerde veya aşırı yüklerde çalıştırılmaları esnasında hidrolik akım hızının karesi ile orantılı olarak artan kayıplardır.

Çıkış Kayıpları:

Çıkış kayıpları ifadesinden, bir daha kullanılmayacak olan ve su akımı ile türbin rotorunu terk eden akım enerjisi anlaşılmaktadır. Çıkış kayıpları, emme borusu bulunmayan Pelton tipi hidrolik türbinlerde tamamen kaybolmaktadır. Emme borusu bulunan Francis ve Kaplan tipi hidrolik türbinlerin emme borularında olan çıkış kayıplarının bir kısmı geri kazanılabilmektedir.

Su akımının türbin rotorunu terk ettiği yerdeki çıkış hızı, emme borusunun çıkışında düşer.

Türbin emme borusunun verimi (η_s) türbin rotoru çıkışındaki çıkış kaybının emme borusunda geri kazanılan kısmı (4) bağıntısıyla bulunur.

$$m_1 = \eta_s \cdot C_2^2 / 2g \quad (4)$$

Burada; (m_1), emme borusu kazancı (C_2), Suyun türbin rotorunu terk ettiği yerdeki hızı g , yerçekimi ivmesidir.

Buna göre çıkış kaybı (h_{va}) aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$\begin{aligned} h_{va} &= \frac{C_a^2}{2g} \\ &= \frac{C_2^2}{2g} - \eta_s \cdot \frac{C_2^2}{2g} \\ &= (1 - \eta_s) \cdot \frac{C_2^2}{2g} \end{aligned} \quad (5)$$

1.2.1.2. Dış Kayıplar

Türbin çarkının alt gövdesi ile üst gövdesinin, dönme boşluklarından kaçan suların içinde dönmesi dolayısıyla meydana gelen sürtünme kayıpları ile türbin kılavuz yatağında ve türbin salmastrasında meydana gelen sürtünme kayıplarının sebep olduğu güç kayıplarına *dış kayıplar* adı verilir. Dış kayıpların türbin çarkının su ile sürtünmesinden

ileri gelen miktarı, türbin çarkının devir sayısının 3. kuvveti ile ve türbin rotoru giriş çapının 5. kuvveti ile orantılı olarak değişmektedir ve (6) eşitliği ile hesaplanır[2].

$$L_R = k.n^3.D_I^5 \quad (6)$$

Burada;

L_R = Türbin rotorunun su içindeki suyla sürtünmesi nedeni ile meydana gelen kayıp güç

k = Deneyle tespit edilen bir katsayı

n = Türbin rotorunun devir sayısı

D_I = Türbin rotorunun giriş çapıdır.

Dış kayıpları, türbin kılavuz yatağındaki ve türbin salmastralarındaki sürtünmeler yüzünden meydana gelen güç kayıpları ile türbini işletmek için çalıştırılması zorunlu olan hız regülatörü ve basınçlı yağ pompaları gibi teçhizatlarda harcanan güç kayıpları oluşturur.

Toplam verimin en önemli çarpanı olan türbin verimi türbin girişinde oluşan net düşüye ve debiye, dolayısıyla güce bağlı olarak büyük değişiklikler gösterir. Türbin veriminde türbin tipi, dizaynı, imalat kalitesi ve hassasiyeti önemli faktörlerdir. Türbinler, genellikle nominal düşü ile nominal güçte en yüksek verim elde edilecek şekilde dizayn edilirler. Ortalama olarak % 98 - % 99,5 mertebesine ulaşabilen generatör ve trafo verimlerine nazaran modern teknikler ve CNC tezgahları kullanılarak imal edilen türbinlerde maksimum % 96 verime ulaşabildiği görülmüştür. İşletme şartlarına göre ortalama % 1-3 değişim gösteren generatör ve trafo verimlerine göre % 40 - % 50 mertebesinde değişim gösterebilen türbin verimleri daha önemlidir [1].

Türkiye'deki Hidroelektrik Santrallere ait karakteristik değerler incelendiğinde çeşitli çalışma koşullarında verimi etkileyen yük, düşü, debi ve aşınma gibi parametrelere göre türbin veriminin % 40 ile % 95,5 arasında değiştiği gözlenmiştir.

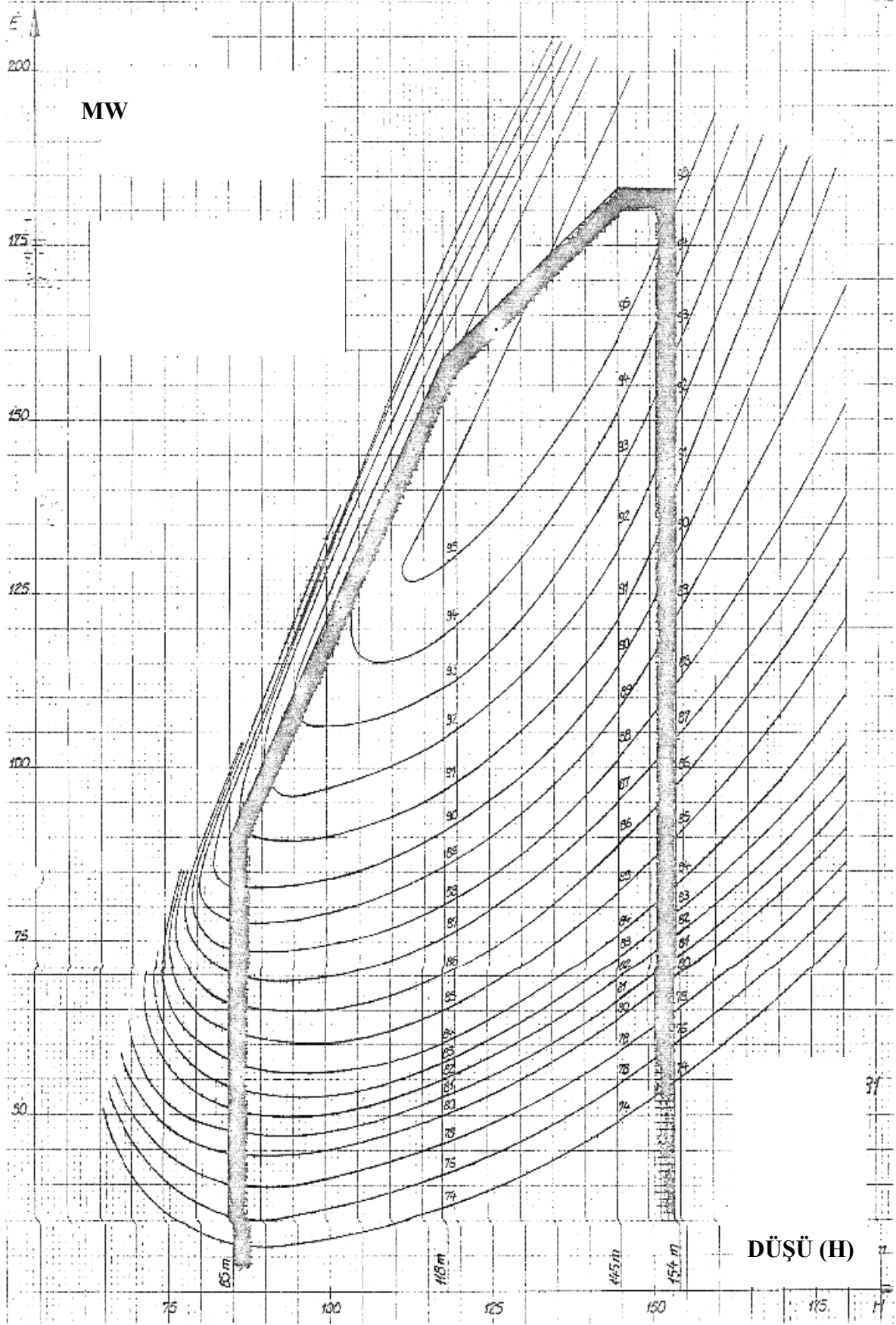
Münferit türbin verimini etkileyen unsurlardan biri de çark açıklıkları olarak da adlandırılan türbin dönme boşluklarıdır. Bu boşlukların aşınma, erozyon ve korozyon gibi sebeplerle büyümesi sızıntı ve kaçakların artmasına neden olup türbin verimini düşüreceğinden bunu engellemek için uygun periyotlarla kontrol edilmeli ve tamirat, parça değişimi gibi gereken tedbirler alınmalıdır.

Ayrıca türbin çarkı ve labirentler gibi dönen türbin aksamalarının, eksantrik pompa şeklinde çalışmasını önlemek için eşit dönme boşlukları temin edecek şekilde merkezlenmesi verimin düşmesini engelleyecek önemli tedbirlerdendir [1].

1.2.1.3. Türbin Verim Dağ Eğrileri ve İşletme Verimliliği

Türbin veriminin düşü, debi ve güç değişkenleri ile ilişkisini gösteren diyagramlara verim dağ eğrileri denir. Kartezyen koordinat sistemiyle oluşturulan diyagramların genellikle apsisinde net düşü, ordinatında da debi veya güç bulunur. Örnek bir türbin verimlilik dağ eğrisi Şekil 1.2.'de verilmiştir.

Nominal düşü maksimum ve minimum işletme seviyeleri arasındaki bir seviyeye tekabül eder. Verim dağ eğrileri incelendiğinde nominal düşü ve nominal güçten uzaklaştıkça türbin veriminin gittikçe artan hızla düştüğü görülür. Hidrolik santrallerin işletilmesindeki temel ilke ünitelerin dizayn edildikleri nominal düşü ve güçte çalıştırılmalarıdır. Ancak gerek akarsuların rejimlerinden gerek sistem şartlarından kaynaklanan nedenlerle bunun her zaman mümkün olamadığı görülür. Bu durumda işletme şartları gereği değişen düşüyle en yüksek verimin elde edileceği güçte üretim yapılması işletme verimliliği açısından önemli bir parametredir.



Şekil 1. 2. Örnek bir türbin verimlilik dağ eğrisi

Birinci kademedeki (havzanın en başındaki) barajlar; ikincil ve üçüncül barajlar için regülasyonları gerçekleştireceğinden, akar sulara bağlı olarak maksimum ve minimum işletme seviyeleri arasındaki farkın kademeli olarak azalması daha doğrudur. Türbinler özgün teçhizatlar olup, doğa şartları gereği oluşan karakteristik değerlere göre özel olarak dizayn ve imal edilirler. Bu nedenle büyük seviye ve düşü farkı oluşan, birincil regülasyonu gerçekleştiren tesislerdeki türbinler, düşü ile daha az değişim gösteren karakterdeki verim dağ eğrisine, küçük seviye ve düşü farkı oluşan alt kademelerdekilerin ise yük ile daha az değişim gösteren karakterdeki verim dağ eğrisine sahip olacak şekilde imal ve dizayn edilmelidirler[1].

Bu yüzden devreye alınma esnasında Özgül Düşü/MW noktalarına göre türbinler ideal verimle çalışacak şekilde dizayn edilmiştir. Ancak seneler sonra çalışma koşulları;

- Yeni nominal düşü ve hidrolik koşullardan dolayı oluşan düşü dalgalanmaları,
- Yeni inşa edilen santrallerin alt ve üst su akış ihtiyaçları
- Yeni yük merkezi ihtiyaçları

yüzünden değişmiş olabilir. Bazı üniteler bu sebeplerden dolayı en uygun verim seviyesinde çalıştırılmaz. Rehabilitasyonlarla yeni imal edilecek türbinler bu yeni optimum noktalarda en yüksek verimle çalışacak şekilde imal edilebilirler.

Günümüzün son tasarım metotları kullanılarak üretilen türbin çarkları % 96 verim seviyelerine ulaşabilmektedirler. Fransız Francis türbin çarkı değiştiren firmaların verilerine göre Francis türbin verimleri,

- 1960'larda % 88
- 1980'lerde % 90

civarındaydı. Günümüz teknolojisi ile üretilen yeni çarklarda 25 yıl önce üretilen çarklara göre % 2.5 ila % 4 arasında değişen bir verim artışı 40 yıl önce üretilen çarklara göre de % 6 kadar bir verim artışı sağlanmıştır [3] .

1.2.2. Aşınma, Verimliliğe Etkisi ve Aşınma Tamirati Geçiren Çarklar

Hidrolik bir türbinin ayar kanatları veya rotor kanatları arasında hareket halinde bulunan akımın, herhangi bir bölgedeki akış hızının herhangi bir nedenle artması ve hızın arttığı bu bölgedeki basıncın suyun buharlaşma basıncı değerine kadar düşmesi, bu bölgelerdeki suyun buharlaşmasına ve yer yer içi doymuş su buharı ile dolu olan vakumlu hacimciklerin teşekkül etmesine sebep olur. Basıncın çok düştüğü yerlerde suyun

buharlaşması ile teşekkül eden ve içi doymuş su buharı ile dolu olan bu vakumlu hacimciklerin genel akışkan hareketine uyarak genişip-büzülmesi ve ani olarak ortadan kalkması esnasında su zerreciklerinin çok büyük bir hızla malzeme yüzeyine çarpması sonucu meydana gelen büyük gürültülü darbelerin malzemenin yüzeyini süngerleştirerek tahrip etmesi olayına *aşınma* adı verilmektedir [2] .

1960’larda türbin labirentlerinde labirent açıklıkları günümüzün yeni türbinlerindeki kadar değil, daha fazlaydı. Bu açıklıkların büyüklüğü çalışma esnasında labirentteki aşınma miktarına etki eder. Çeşitli deney verilerine göre labirentteki 0,1 mm ek bir açıklık verimliliği % 0,3 düşürmektedir. Buna göre 1 mm’lik ek bir labirent açıklığı verimliliği % 3 oranında düşürmektedir. [3]

Aşınmanın çok olduğu türbin çarklarında şablon kullanılmadan periyodik olarak yüzey kaplama yapılmaktadır. Çark veriminin en önemli parametrelerinden biri olan orijinal çark biçimi zamanla onlarca kez yüzey kaplamasından dolayı verimin daha düşük (örneğin \pm % 1) olduğu başka bir biçime dönüşebilir.

Türkiye’de Sarıyar, Karakaya, Keban v.b. Hidroelektrik santralleri güçlü aşınmaya maruz kalan santrallerdendir ve her 2-3 senede bir türbin çarkları ve labirentlerde ciddi oranda yüzey kaplaması yapılmaktadır. Resim 1’de bir türbin çarkının aşınmış bölgesi görülmektedir. Tecrübeye dayalı verilere göre Aşınma etkisi ile yapılan yüzey kaplamaların 50 senede bu tip bir türbinin verimini % 2 düşürdüğü söylenebilir[3].



Resim 1. Keban Hidroelektrik Santralında bir türbin çarkının aşınmaya uğramış bölgesi

Hidrolik türbinlerin orijinal biçimlerinin, bu günkü gelişmiş olan teknoloji sayesinde, aşınmasız bir işletmeyi mümkün kılacak şekilde yapılması mümkündür. Francis tipi hidrolik türbinlerin emme borularında meydana gelen vorteks, hem hidrolik türbinin rotorunda aşınma olayı ve hem de komple türbin-generatör ünitesinin döner kütlelerinde vibrasyon olayı meydana gelmesine sebebiyet verdiği için çok büyük önem arz eder.

Son yıllarda imal edilen Francis tipi hidrolik türbinlerin güçlerinin ve döner kütlelerinin çapları ile birlikte toplam shaft boylarının çok büyümüş olması, bu tip türbinlerin emme borularında meydana gelen vorteksin önemini daha da arttırmıştır.

Su türbinlerinin orijinal biçimlerinde dikkat edilecek başlıca noktalardan biri, herhangi bir işletme durumunda su türbini aşınma sınırı içine düşmemesi için gerekli bütün tedbirleri almaktır. Su türbinlerinin içersindeki hidrolik akım şekilleri, çarklar imal edilmeden önce tam olarak bilinmediği için bu sahada çalışan proje tasarlayan mühendisler eskiden beri çözülmesi zor olan bir sorunla karşı karşıyadırlar.

Francis tipi hidrolik türbinlerde meydana gelen aşınma olayı ile ilgili olarak yapılan pek çok araştırmalarda ve bir çok Avrupa ülkelerinde 100 yıla yakın bir zamandan beri, yurdumuzda ise 20 yılı aşkın bir zamandan beri hidrolik türbinlerin işletmeciliğinden elde edilen tecrübelerle göre aşınma olayının bir türbine etkileri şunlardır:

a- Türbin ayar kanatları arasında ve türbin rotoru kanatları arasında çok düşük basınçlı (vakumlu) hacimciklerin meydana gelmesi ile enine kesit daraldığı için debi azalmakta ve dolayısıyla da güç düşmektedir.

b- Aşınma sonucu meydana gelen vuruş ve darbelerle salınımlar enerji yuttuğu için güç kaybı olmakta ve türbin verimi % 10 - % 20 kadar azalmaktadır.

c- Aşınma olayının meydana gelmesi sonucu türbin rotoru ile birlikte komple türbin generatör shaftında titreşimler ve salınımlar meydana gelmekte, bu da komple türbin-generatör ünitesi döner kütlelerinin dengesini bozmaktadır.

d- Aşınma olayı nedeni ile türbin emme borusunun verimi çok düşmektedir, türbinin nominal yükünün veya herhangi bir hidrolik düşüdeki optimum yükünün çok altındaki yüklerde çalıştırılması esnasında emme borusunda meydana gelen *vorteks* de hem aşınmanın şiddetini artırmakta, hem türbin emme borusunun ve türbinin verimini düşürmekte ve hem de türbin rotoruna teğetsel ve eksensel yönlerde etkiyen hidrolik kuvvetlerin dengesini bozduğu için komple türbin-generatör shaftının titreşimine neden olmaktadır [2].

Büyük güçlü Francis tipi hidrolik türbinlerde maksimum aşınmayla çalışma sahası (kritik yük sahası) optimum yükün takriben % 15 - % 50' ne isabet eden yükler arası saha olup aşınma olayı şiddetinin tepe noktası bu sınırlar içindeki yük sahasında meydana gelmektedir[2].

Ancak, hem aşınma olayının zararlı tesirlerinden korunmak ve hem de özgül su sarfiyatının artırılmaması ve ekonomik olmayan bir işletme yapılmaması bakımından Francis tipi hidrolik türbinlerin % 15 optimum yükten daha düşük yüklerle de çalıştırılmamaları ve % 75 - % 100 optimum yükler arasında çalıştırılmaları en isabetli işletme tarzıdır.

1.2.3. Türkiye'deki Hidroelektrik Santrallerde Türbin Verimi Ölçülmesine Neden İhtiyaç Var ?

Türkiye'de mevcut hidroelektrik santrallerin çoğu EÜAŞ tarafından işletilmektedir. Özel firmalar tarafından işletilen santraller nispeten daha yeni santrallerdir. EÜAŞ'ın 107 adet hidroelektrik santrali mevcuttur. Bu şirketin verilerine göre santrallerin devreye alınış tarihleri 1956'dan başlayıp günümüze kadar sürmektedir [1]. Kurulduğundan beri Keban HES Gibson metodu ile verimlilik ölçümü yapılması hariç(2005) hiçbir hidroelektrik santralde saha verimlilik ölçümü yapılmamıştır. Bu yüzen üreticinin verdiği türbin verimlilik değerlerinin doğruluğu kontrol edilmemiştir.

Bazı hidroelektrik santrallerde (örneğin Karakaya HES) Winter Kenedy yöntemi kullanılarak türbinden akan su akışı takip edilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemde çarkın iki tarafına fark basınç ölçerler yerleştirilerek su akış miktarı düşük dorulukla (belirsizlik yaklaşık %5) ölçülüp türbin çıkış gücünü de hesaba katarak model verimlilik ölçümlerine göre kalibrasyon yapıp türbinin verimini ölçmek amaçlanmıştır. Ancak bu basınç ölçüm sistemlerinin çoğu zamanla arızalanmış veya ölçüm hassasiyetleri çok düşük olduğundan yeterli sonuç alınamamıştır. Yaygın kabule göre sağlıklı çalışan Winter Kenedy debi ölçüm sistemlerinde kalibrasyonun saha verimlilik test sonuçlarına göre yapılması daha doğru sonuç vermektedir.

Keban HES'de rehabilitasyon ihtiyacı ortaya çıktığı için Şubat 2005 tarihinde ünite 4. üzerinde bu çalışmadan ayrı olarak Gibson metodu ile bir verimlilik ölçüm testi yapılmıştır. 133 m net düşüde, 161 MW çıkış gücünde ölçülen verim % 90 bulunmuş, ölçüm belirsizliği \pm % 2.5 olarak belirtilmiştir [4]. Ancak bu ölçüm raporlarında ölçüm

doğruluğu yetersiz olduğundan doğruluğu daha yüksek başka bir metotla ölçüm yapılarak değerlendirme yapılması önerilmiştir.

Yukarıda da Bölüm 1.2.2. belirtildiği gibi bazı santrallerde yoğun aşınma problemi vardır. Bu santrallerde problemin çözümü için zaman zaman çarkların aşınan yüzeyleri krom kaynakla kaplama yapılmaktadır. Ancak bu kaplama esnasında dolgunun ne kadar olacağı konusunda kalıp şablon kullanılmadığı için çarkın eski mevcut şekli korunamamakta, giderek orijinal çark biçimi (profil) değişmektedir. Biçimin değişmesi türbin çark verimini doğrudan etkilemektedir.

Özetle

- Türbin çark verimlerinin tam olarak bilinmemesi,
- İlk çark tasarımlarının kötü oluşu (eski teknoloji),
- Defalarca yüzey kaplaması yapılmış olması yüzünden mevcut çark şeklinin bozulmuş olması,
- Yavaş bozulma,
- Labirentlerin aşınmış olması,

gibi sebeplerin olumsuz etkilerinden dolayı türbin çark verimleri günümüzde üretilen türbin çark verim değerlerinin altında olabilir, bu değerlerin ne kadar altında olduğunun tespiti için türbin çarkı saha verimliliği ölçülmesine ihtiyaç vardır [3].

Türkiye’de hidroelektrik santrallerde rehabilitasyon çalışmaları yavaş yavaş başlamıştır. Keban HES, rehabilitasyon çalışmasının başlatıldığı ilk santrallerden biridir. Santralleri eskidikçe rehabilitasyon ve yenileme çalışmaları da artacaktır. Rehabilitasyon çalışmalarında en büyük maliyet unsuru olan türbin çarkı değişimine karar vermek için saha verimlilik ölçümlerinin yapılması ve buna göre fayda-maliyet analizinin yapılması ülkemizin toplam santral rehabilitasyonu ve yenileme maliyetlerini düşürecektir.

1.2.4. Türbin Verimliliği Ölçümü Yapılacak Hidroelektrik Santralın Seçilmesi ve Ölçümün Gerçekleştirilmesi İçin İzlenecek Yol

Bir çok su türbininin performansı doğrudan türbin çarkına bağlı olduğu için çark türbinin en önemli parçasıdır. Bir hidroelektrik santral elemanlarının kesit görünümü şekil 1.3’de görülmektedir. Su akış karakteristiklerine daha iyi kullanım sağlayan yeni tasarım

çarklarla türbin çarklarının değiştirilmesi daha birçok rehabilitasyon projesi için gerekli olabilir. Ancak bu kararı vermek için aşağıdaki çalışmaları yapmak gerekir [3] .

- Türbin verimlilik ölçümü yapılacak santrallerin yaş, güç, su kaynağı v.b. kriterlere göre seçilmesi: Türbinlerin yaşı bakımından eski türbinlerin daha düşük verimle üretildikleri varsayılmaktadır. Santraldeki aşınma işleminin sıklığı bakımından, daha çok aşınma olan çarklarda tamiratlardan dolayı oluşan şekil bozukluğu ve bunun sebep olduğu verim kaybı daha çok olacaktır.

- Türbin verimliliği ölçümü için uygun metodun her santral için belirlenmesi: Santralin düşüsü, santraldeki türbinlerin tipi, ölçüm maliyeti ve metodun uygulanabilirliği v.s. özellikleri dikkate alınarak uygun metod belirlenmelidir.

- Verimlilik ölçümü yapılacak üniteler belirlenirken santraldeki tüm ünitelere örnek teşkil edecek çalışma saati ve aşınma yönünden diğer ünitelerle aynı olma kriterleri göz önüne alınarak seçim yapılması.

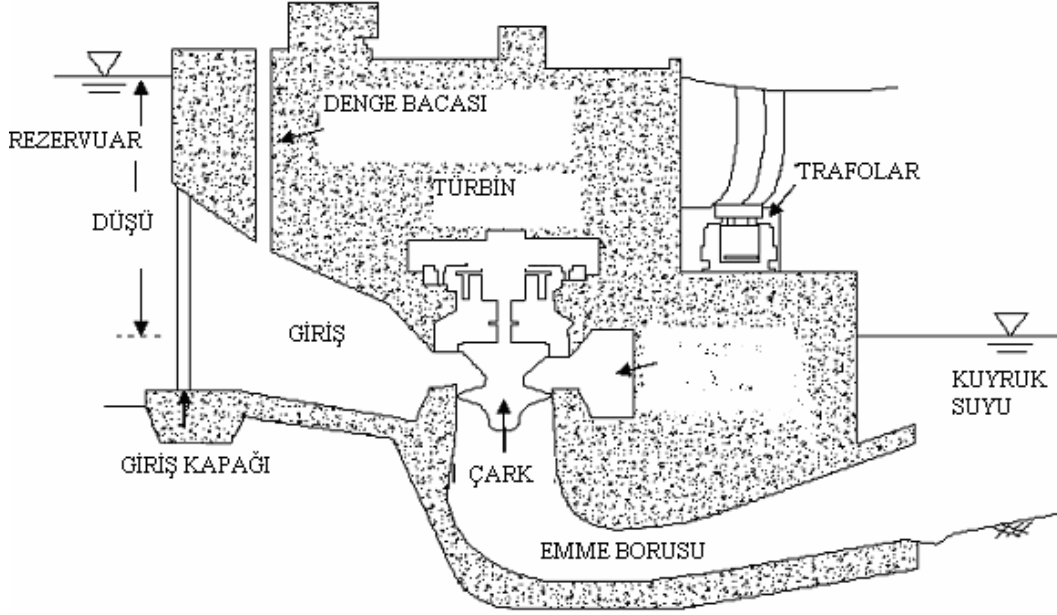
- Türbin verimliliği ölçümünün belirlenen metoda göre gerçekleştirilmesi.

- Verimliliğin düşüklüğünden dolayı oluşan ekonomik kayba ve çark değişim maliyetine göre (yatırımın geri dönüş süresi) santrallerin sıralanması.

- Her ünitenin yıllık üretimini dikkate almak gerekir. Zira % 1'lik verim artışı sağlanırsa yıllık elde edilecek kazanç hesaplanabilir.

- Eğer bu santrallerde aşınma olayı çoksa bu değişim ile bakım işleri maliyeti de azalacak geri dönüş süresi kısılacaktır.

- Belirlenen bu sıraya göre santrallerdeki türbin çarklarının değiştirilmesi[3] .



Şekil 1.3. Bir hidroelektrik santral elamanlarının enine kesit görünümü

1.3. Türbin Verimlilik Ölçüm Testleri

1.3.1. Önemi

Hidroelektrik ünitelerde şartlara göre verim ve performanslarında en çok değişiklik görülen teçhizat türbinlerdir. Türbinlerin verimleri yüke, düşüye, debiye, aşınmaya, vorteks ve torç gibi hidroluk akım olaylarına bağlı olarak hızlı bir değişim gösterirler. Ayrıca aşınma tamirâtı ile oluşan deformasyon da türbin verimliliğini olumsuz yönde etkileyen bir faktördür. Bu nedenlerle türbinlerin verim ve performansları diğer teçhizatlarınkine göre daha dikkatli bir şekilde, sürekli olarak takip edilmelidir.

Türbin verimlilik testleri her on yılda bir, aşınma sorunu olan ve ağır aşınma tamirâtı geçiren ünitelerde daha sık periyotlarla, mümkünse onarımlar sonrasında yapılmalıdır. Verim ve performans değerlerini güvenilir olarak elde etmenin yolu usulüne ve standartlara uygun olarak yapılan testlerdir. Rehabilitasyon öncesi ve sonrası testlerden güvenilir bir sonuç almak için bir kaç metot aynı anda kullanılmakta veya aynı metot iki ayrı bağımsız uzman kuruluşa aynı şartlarda yaptırılmaktadır. Zira verimlilik ölçümünde en önemli husus ölçmenin belirsizliğidir. Ölçmenin güvenilirliği ölçme metoduna verilecek belirsizlik değerine ve bu değeri verenlerin ne kadar tecrübeli olduklarına bağlıdır.

Saha koşullarında hidrolik makinelerin verimlilik testlerinin yapılmasında su akışının ölçümü çok önemli ve zor bir görevdir. Su yollarına dışardan erişim imkanının olmadığı santrallerde bu işlem özellikle daha da karmaşıktır. Bu yüzden birkaç uygun su akış ölçüm metodundan biri olan Gibson metodu oldukça kullanışlıdır. Basınç zaman eğrisini elde etmek için geleneksel veri toplama sistemlerinin yerini dijital veri toplama ve kayıt sistemlerinin almış olması bu metodun cazibesini oldukça artırmaktadır. Cebri boruya dışardan ulaşımın olabildiği durumlarda bu metodu kullanıma hazırlamak, diğer metotlara göre daha basittir, ancak dışardan erişimin olmadığı durumlarda cebri boru içindeki basınç ölçüm sisteminin daha karmaşık oluşu konfigürasyondaki zorluğu artırır [5] .

1.3.2. Standartlar

Elektro mekanik teçhizatların; özellikle türbinlerin verim ve performans testleri için kullanılan, geçerli standartların hangileri olduğu araştırılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak Hidroelektrik Santralara ait türbin ve generatörler için TSE tarafından hazırlanan herhangi bir standart yoktur.

Yabancı ve uluslararası diğer standartlardan ve Hidrolik türbinlerin performans testleri ile ilgili standartlardan en yaygın kullanılanı IEC 60041 numaralı standarttır[6]. Bu standartla ölçümlerin nasıl yapıldığı daha sonraki bölümlerde anlatılacaktır. Türbin verimliliği ölçmede en kritik olaylardan birisi türbinden geçen suyun debisinin ölçülmesidir. Günümüzde ultrasonik yöntemlerle debi ölçümünde de oldukça iyi ilerlemeler sağlanmıştır. Çapı 7-8 m olan oldukça kıvrımlı su yolları için bile % 0.5 doğrulukla debi ölçümü başarılabilmektedir. Ultrasonik metotla türbin verimlilik ölçümü için IEC 60041 standardının Ek J kısmı kullanılabilir. Ancak günümüzde bu alanda en çok kullanılan standart, bir Amerikan standardı olan ASME PTC 18-2002'dir[7].

1.3.3. Ultrasonik Metotla Türbin Verimlilik Ölçümü

1.3.3.1. Genel

Hidrolik güç ve elektriksel güç arasında tanımlanacak farklı verimlilik ölçümleri için aşağıdaki ölçümlerin yapılması gereklidir.

- Ultrasonik akış ölçümü
- Türbinin üst akış ve alt akış kısmında basınç ölçümü
- Generatör gücü ölçümü

- Su sıcaklığı ölçümü
- Ayar kanat pozisyonu bilgisi
- Cos ϕ gösterimi

Bu ölçümler ile bir hidroelektrik ünitenin komple verimliliğini bulmak mümkündür. Türbinin verimliliğini hesaplamak için generatörün ve trafonun veriminin bilinmesi de gereklidir.

Bu yöntemle verimlilik ölçümü için türbinin aşağıdaki verilerinin bilinmesi gereklidir [8].

- Güç [MW]
- Rezervuar işletme seviyesi[masl]
- Minimum rezervuar işletme seviyesi [masl]
- Nominal düşü [m]
- Nominal debi [m³/s]
- Garanti edilen verim [%]
- Verimlilik ölçümünün tolerans bandı (belirsizlik) [%]

Bu verilerde [masl] birimi ile verilenler Şekil 1.4'te görüldüğü gibi mutlak yükseklikleri göstermekte olup hesaplamalarda doğrudan kullanılır. Şekil 1.4'te bu yüksekliklerle ilgili (xxx.xx) gibi gösterilen ifadeler kullanılacak rakamların ondalık basamak sayılarını (virgülden sonra iki basamak) göstermektedir. Bu ölçme belirsizliği açısından önemli olduğu için belirtilmiştir.

Şekil 1.4'te ultrasonik metotla debi ölçüm düzeneğinin uygulama prensip şeması verilmiştir, hesaplamalarda kullanılan büyüklüklerin yerleri gösterilmiştir.

1.3.3.2. Ultrasonik Metotla Türbin Verimi Hesaplama

Bir ünitenin verimliliği (η) (türbin-generatör birlikte) ultrasonik metotla eşitlik (7) ile hesaplanır.

$$\eta = \frac{P_a}{P_h} \quad (7)$$

Burada; (P_a) elektriksel güç, (P_h), hidrolik güçtür. Elektriksel güç generatörün çıkışından doğrudan ölçülebilir. Bundan dolayı trafo kayıplarının hesaba katılması gerekmez.

Hidrolik güç (P_h) aşağıdaki ifade ile bulunabilir[8].

$$P_h = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h_N \quad [\text{W}] \quad (8)$$

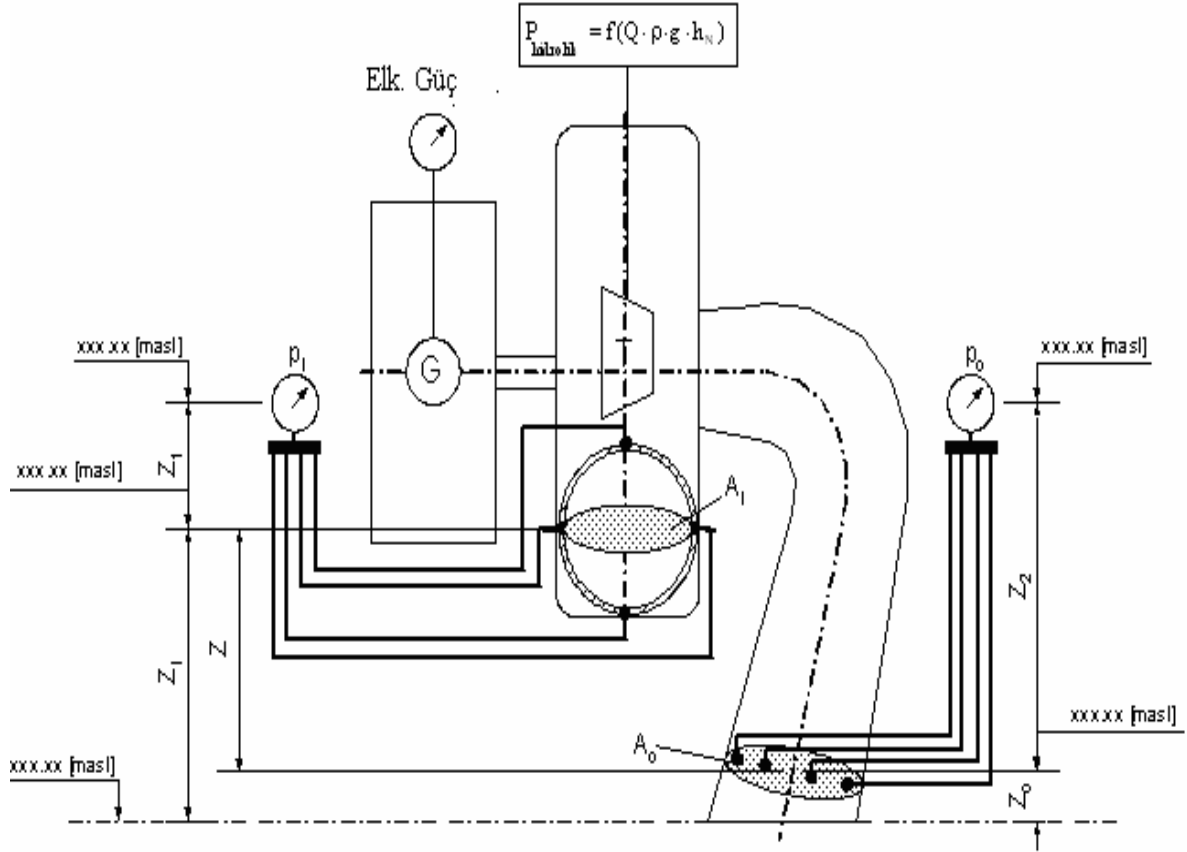
Net düşü (h_N); p_i , ölçülen giriş basıncı, p_o , ölçülen çıkış basıncı olmak üzere suyun aktığı alan (A) ve yükseklik (Z) parametrelerine de bağlı olarak eşitlik (9) ile hesaplanır.

$$h_N = Z + \left(\frac{p_i}{\rho \cdot g} + Z_1 \right) - \left(\frac{p_o}{\rho \cdot g} + Z_2 \right) + \frac{\frac{Q^2}{A_i^2} - \frac{Q^2}{A_o^2}}{2 \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (9)$$

Yükseklik farkı(Z) eşitlik (10) ile hesaplanır.

$$Z = Z_i - Z_o \quad [\text{m}] \quad (10)$$

Burada Z_i , Türbin giriş seviyesi; Z_o , Türbin çıkış seviyesidir.



Şekil 1.4. Bir yatay eksenli hidroelektrik ünitesi türbininde ultrasonik metotla verimlilik ölçümü prensip şeması

1.3.3.3. Verim Ölçme İşlemi

Ultrasonik sensörlerden suyun akış hızı sinyalleri bir saniyelik periyotlarla işlem ünitesine toplanır. Düzenlenmiş sinyaller buradan analiz bilgisayarına aktarılır. Analiz bilgisayarı SCADA sistemi kullanır. Alınan sinyallerin veya değerlerin dakikalık aralıklarla ortalaması alınır. Bu ortalama değerler bir Excel tablosuna çıkartılır. Daha sonra bu ortalama değerlerle gerekli bütün hesaplamalar yapılır.

Ölçme işleminde dikkat edilecek hususlar:

1. Ölçme noktaları yerinin tespiti yapılır.
2. Basınç algılayıcıları güvenilir bir biçimde ayarlanmalıdır. Verimlilik testinden önce ve sonra türbinin yüksek basınç kısmındaki algılayıcılar hidrolik basınç altında kontrol edilir. Göl veya nehrin gerçek seviyesi değeri için bir yer ölçme uzmanından güvenilir değerin alınması gerekir.

3. Ölçülen akış bilgisinin makul olup olmadığı kontrol edilir. Ölçülen suyun içinden soğutma, içme v.s. gibi yerlerde kullanılan su miktarları varsa ölçülen değerden çıkartılmalıdır.
4. Generatör güç ölçümü cihazı kalibrasyon sertifikası hesaba katılması gereken noktalar açısından kontrol edilmelidir.
5. Su sıcaklığı ölçüm cihazlarının kalibrasyon sertifikası kontrol edilmelidir [8] .

Ölçüm koşulları:

1. Türbinin net düşüsü mümkünse tasarım değerine yakın olmalıdır.
2. Bütün verimlilik ölçümü sırasında makinenin frekansı sabit olmalıdır.
3. Ölçüm boyunca güç faktörü ($\cos \varphi$) generator verimliliği özelliklerine göre sabit olmalıdır.
4. Ölçülen suyun sadece türbinin üzerinden geçtiğinden emin olunmalıdır. Normalde verimlilik ölçümü sadece bir üniteye bir kere yapılır. Bu yüzden ölçüm yapılırken diğer ünitelerin duruyor olması gereklidir ve üzerlerinden herhangi su akışının olmadığından emin olunmalıdır. Varsa bu kaçak miktarlar hesaba katılmalıdır.
5. Türbinde verimlilik ölçümünün yapıldığı gün türbini değişik güçlerde çalıştırmak mümkün olmalıdır. En az % 80 ile % 100 arasında seçilen güçlerde 10 dakika çalıştırılma imkanı olmalıdır.[8]

Türbin verimlilik ölçümünün uygulaması: Türbin verimlilik ölçümü esnasında sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanır:

1. Türbin istenen yükte çalıştırılır.
2. Ölçüme başlanır ve ölçülen değerler kararlı duruma gelene kadar devam edilir.
 - Ölçülen değerler sürekli 1 saniyelik periyotlarla analiz bilgisayarına gönderilir.
 - Analiz programı her alınan verinin 1 dakika üzerinden ortalama değerini hesaplar.
 - Analiz programı hesaplanan ortalama değerleri Excel tablosuna çıkarılır.
3. Ölçülen/hesaplanan değerler bir grafik üzerinde gösterilir.
4. 10 dakika bu işlemler sürdürüldükten sonra ölçme işlemi bitirilir. Seçilen diğer her farklı güç için aynı işlemler tekrarlanır.
5. Ölçümde kullanılan tüm cihazların ve programların (SCADA, analiz bilgisayarını v.b.) zaman senkronizasyonu yapılırsa, bütün ölçülen ve hesaplanan değerler gerçek zamanlı olarak ulaşılabilir olur. Bu sayede görünür güç, elektriksel güç ve verimlilik bir grafik ile gösterilebilir [8].

Son analiz:

Son analiz Excel veri tabanında yapılabilir. Böylece ağırlıklı türbin verimi (η_w) eşitlik (11) ile hesaplanabilir.

$$\eta_w = 0,1.\eta_{80} + 0,3.\eta_{90} + 0,6.\eta_{100} \quad (11)$$

Burada; η_{80} , Nominal net düşüde garanti edilen 80 [%] yükteki verim

η_{90} , Nominal net düşüde garanti edilen 90 [%] yükteki verim

η_{100} , Nominal net düşüde garanti edilen 100 [%] yükteki verimdir.

1.3.3.4. Ultrasonik Geçiş Zamanlı Debi Ölçümü

Türbinlerin verimlilik ve performans ölçümlerindeki en önemli parametrelerden biri debidir. Debi ölçümü, dikkat ve hassasiyet isteyen oldukça zahmetli bir çalışma gerektirir. Bu nedenle debi ölçümlerinde kullanılan debimetre veya akışmetre olarak adlandırılan cihazlar ile bunların hassasiyetleri de önem kazanır.

Yapılan araştırmalarda, % 1'in altında bir hassasiyete sahip olan debimetrelerle yapılan testlerin tatminkar sonuçlar verdiği görülmüştür.

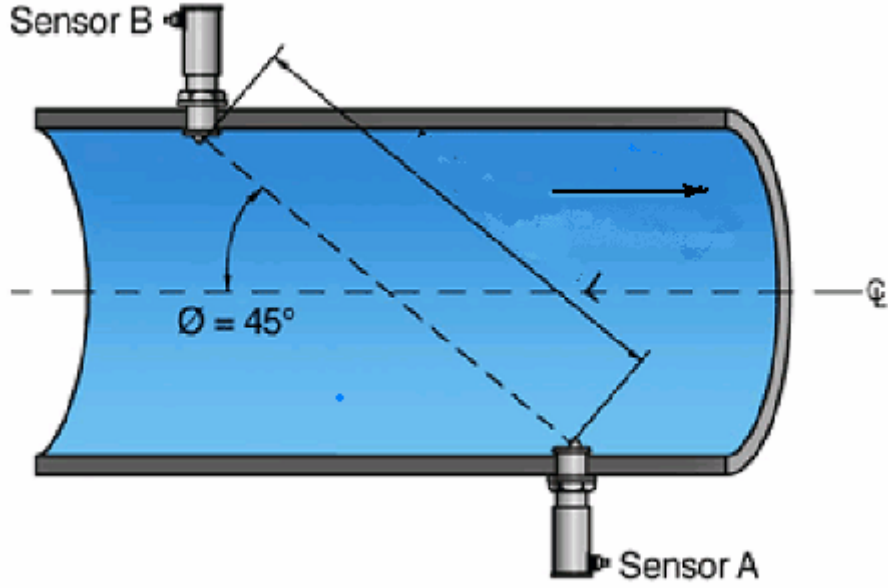
Ultrasonik geçiş zamanlı debi ölçümünde, su içindeki askıda kalan katı parçalar ve hava kabarcıkları sinyal algılamalarında sıklıkla problemlere sebep olur. Hidrolik akım şartları ölçümleri çok büyük oranda etkilediklerinden dolayı ölçüm metodu ve ölçüm noktalarının belirlenmesine dikkat etmek gerekir. Ayrıca borunun geometrik şekli ve transduserlerin doğru yerleştirilmesi de ölçüm hassasiyetini büyük ölçüde etkiler.

Ultrasonik metotla ölçüm sistemlerinde transduserlerin yer ve pozisyonlarının dikkatli bir şekilde tespit edilmesi, cebri boruların kesitlerinin tam olarak belirlenmesi ve transduserlerin nihai pozisyonları yüksek hassasiyetli ölçüm doğrusalığı için çok önemlidir. Montaj esnasında boru içine girecek şekilde monte edilen transduserlerin akışkan akımını olumsuz yönde etkileyeceği göz önüne alınmalıdır.

Yukarıdaki kriterlere uyulması kaydıyla ultrasonik metotla debi ölçümü yüksek hassasiyetli ve güvenilir bir ölçüm tekniğidir.

1.3.3.5. Ultrasonik Debi Ölçme Metodu

Su akış hızı ölçüm şeması Şekil 1. 5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 1. 5. Ultrasonik metotla su akış hızı ölçümü

Bu metodun genel denklemleri

$$T_{AB} = \frac{L}{C - V \cdot \cos \Theta} \quad (12)$$

$$T_{BA} = \frac{L}{C + V \cdot \cos \Theta} \quad (13)$$

Burada; C, Sesin sudaki hızı V, Suyun hızı, T_{AB} , Transduser A'dan B'ye doğru (akıntıya karşı) ulaşım zamanı T_{BA} , Transduser B'den A'ya doğru (akıntı yönünde) ulaşım zamanıdır.

Yukarıdaki bağıntı basit olarak, $Zaman = Yol/Hız$ şeklinde eşitlik (14) teki gibi gösterilir.

$$T = D/V \quad (14)$$

Borulardaki akışı hesaplamak için akışkanın hızının bilinmesi gerekir. Yukarıdaki eşitliklerde hız (V) çekilirse, sesin yayılma hızı (C)'den bağımsız olarak aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$V = \frac{T_{BA} - T_{AB}}{T_{BA} \cdot T_{AB}} \cdot \frac{L}{2 \cos \Theta} \quad (15)$$

Burada; L, ultrasonik dalganın verici sensörden alıcı sensöre giderken aldığı yol Θ , Şekil 1. 5'te görülen açıdır.

Bir önceki denklemde görülen suyun yayılma hızı, sıcaklığa, yoğunluğa ve basınca bağlıdır. Buna ilaveten sesin yayılma hızı iç sürtünme, sıcaklık, sudaki katı partiküller, yoğunluk ve suyun kirliliği gibi etkenlerle değişir. Dolayısı ile denklemde sesin yayılma hızının elimine edilmesi bu parametrelerden etkilenmemesi demektir ki bu da hassas bir ölçüm için önemli bir üstünlüktür.

Ultrasonik debi ölçerlerin hassasiyeti % 0.5 ile % 2 arasında değişmektedir. Ultrasonik adım sayısı 1 - 16 yola kadar ayarlanabilir, yol sayısı artırılarak daha hassas ölçme yapılabilir. Bu metot çapı 250 mm den 14.000 mm'ye kadar olan borularda uygulanabilir. 20 m/s'ye kadar akışkan hızlarının aynı hassasiyette ölçülmesini sağlar. Ultrasonik sensör ile transdüser arasındaki mesafe, 300 metreye kadar ulaşabilir. Genellikle analog çıkış 4-20 mA'dir. 4-20 mA çıkışın olması ölçüm bilgilerinin PC ortamına taşınmasına kolaylık sağladığı gibi bu bilgilerin uzak istasyonlara taşınmasını da kolaylaştırır. Böyle bir durum hassas bir ölçümün yanında çevrimiçi bir algoritmayı da mümkün kılar [1].

1.3.3.5. Özgül Su

Özgül su hidroelektrik santrallere özgün, verimliliğin ve verimli üretimin sonucunu gösteren, birimi (m^3 / kWh) olan bir terimdir. Herhangi bir hidroelektrik santralde bir kilowattsaatlik elektrik enerjisi üretmek için harcanılan (türbinden geçirilen) suya o santralin *özümlü su sarfiyatı* denir. Örneğin özgül suyu 5 (m^3 / kWh) olan bir hidrolik üniteden bir kilowattsaat enerji üretmek için türbinden 5 m^3 (yaklaşık 5 ton) suyun geçirilmesi gerekmektedir.

Özgül su değerleri tesislerin karakteristik özelliklerinin farklı olmasından dolayı santralden santrale değişiklik gösterir. Özgül su ne kadar az ise, birim enerji için harcanan su o kadar azdır.

Özgül suyun su enerji dönüşüm eşitliğinden[2,shf 1] türetilmiş yaklaşık bağıntısı (16) eşitliğindeki gibi olup, etkin parametreler net düşü ve toplam verime bağlı olarak özgül su miktarı bulunabilir.

$$\text{Özgülsu} = \frac{367100}{100.H.\eta} \quad (16)$$

Yüksek verimlilikte üretim yapmak veya yüksek verimlilik elde etmek, yani birim enerji için daha az su harcamak veya bir başka deyişle aynı sudan daha fazla enerji üretebilmek demektir [1].

1.4. Termodinamik Metotla Verimlilik Ölçümü ve Hesaplamalar

1.4.1. Termodinamik Metodun Genel İzahı

Termodinamik metotla verimlilik ölçümü esas olarak iki tiptir. Biri 1976 yılından beri uygulanan kısmi genişleme (partial expansion) metodu, diğeri 2005 yılından beri uygulanan direkt metottur.

Kısmi Genişleme Metodu (partial expansion, zero method): Hidrolik makinenin verimliliğini bulmak için kısmi genişleme metodu kullanılarak yüksek basınçlı su çıkarılır ve daha sonra genişletirilerek üst akış kısmı sıcaklığı T_{11} ve alt akış kısmı sıcaklığı T_{21} 'e eşit olması sağlanır. Böylece özgül mekanik enerji denkleminde c_p ifadesi sıfıra eşit olur ve denkleminde yer almaz. Daha basit şekilde hidrolik makine kayıpları her iki probda genişleme ile gösterilir.

Avantajları:

- Basit ekipman gerektirir.
- Uzun ölçüm deneyimi vardır.

Dezavantajları:

- Bir ölçüm noktası için uzun ölçüm süresi gerektirir,
- Kısıtlı bir sürede otomatik veri toplamaya uygundur,
- Sadece bir ölçüm kısmı için tek termometre kullanmaya müsaade eder [9].

Direkt metot: Gerçekte bazı kısımlarda ölçüm ekipmanları kısmi genişleme metodunda kullanılanlarla aynıdır. Örneğin üst akış probu tamamen aynıdır. İki metot arasındaki tek fark, iki ölçüm kısmı arasındaki sıcaklık eşitliği yerine mutlak sıcaklıkların ölçülmesidir. Verimliliğin değerlendirilmesi için ölçülen sıcaklıklar farkı hesaba katılmıştır. Direkt metot ayrıca alt akış kısmında serbest bir yüzeye birden fazla termometre yerleştirilmesini mümkün kılar. Ölçüm bölümünde farklı sıcaklıkları kaydetmek ve bu şekilde değerlendirmede daha doğru değerler elde edebilmek için üç veya daha fazla

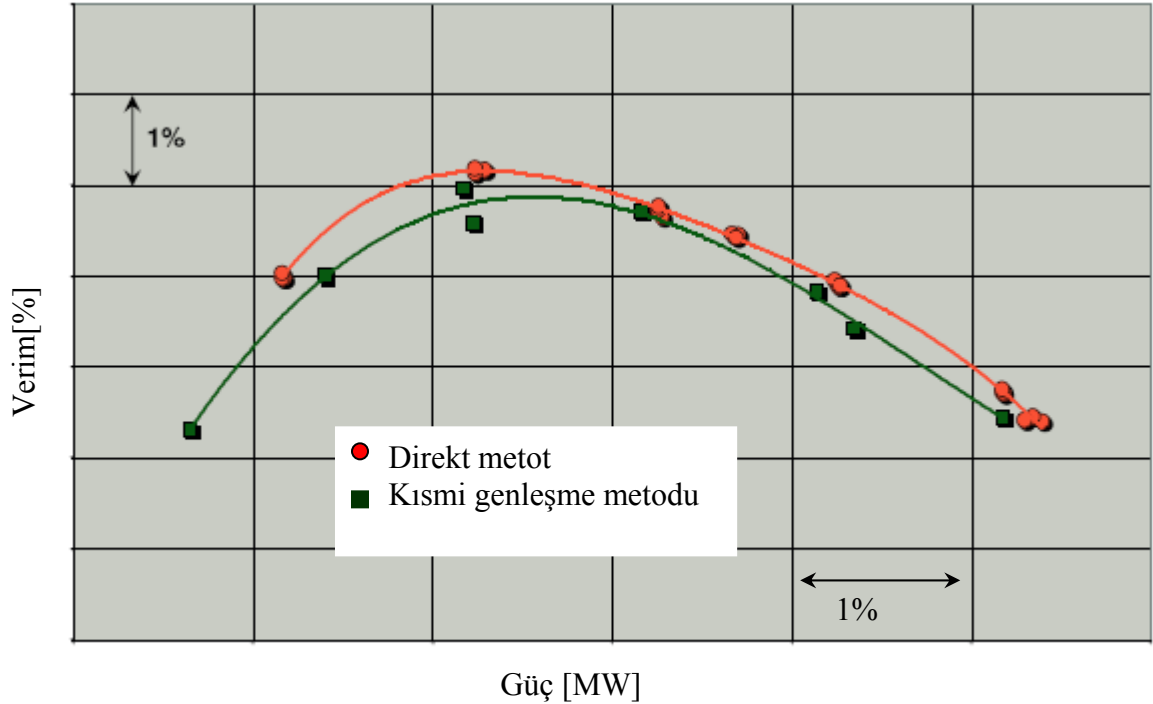
termometre kullanılabilir. Aynı üniteye uygulanan direkt metot ve kısmi genişleme metodunun karşılaştırması Şekil 1. 6 'da verilmiştir.

Avantajları:

- Bir ölçüm noktası için daha kısa ölçüm süresi yeterlidir.
- Aynı zaman aralığı içinde bütün gerekli değerlerin ölçümü yapılabilir.
- Açık alt akış ölçüm kısmı için çoklu termometreler yerleştirilebilir.
- Otomatik veri edinimi için iyi uygulanabilir.

Dezavantajları:

- Doğruluğu çok yüksek termometreler gerektirir
- Daha pahalı ekipman gerektirir [9] .



Şekil 1. 6. Direkt metotla kısmi genişleme metodunun karşılaştırılması [9]

Her iki termodinamik metotla yapılan ölçümlerde düşüsü 100 m den daha az olan hidroelektrik ünitelerde belirsizlik yüksek olduğundan IEC 600 41 standardında bu metotlar 100 m den daha az düşülü santrallerde önerilmemektedir.

Gibson metodunun dayanağı Newton yasaları ve akışkanlar mekaniğinden çıkarılmış akışkan yolu üzerindeki kapanıp açılabilen herhangi bir kapının iki tarafında suyun hızlanıp yavaşlaması ile meydana gelen basınç farkının değişimi nedeni ile oluşan

kuvvetler arasında ki ilişkiyi veren yasalardır. Kısaca bu basınç farkının değişiminden faydalanılarak türbinden geçen akış hesap edilmeye çalışılır.

Dünyada oldukça fazla HES saha verimlilik ölçümü uygulama örneği mevcuttur. Bunlardan Norveç'te Svean HES'de yapılan saha verimlilik ölçümü termodinamik metotla Gibson metodunu karşılaştırmak için iyi bir örnektir. Hem Gibson hem de termodinamik metotla saha verimlilik ölçümü yapılarak bu iki metot karşılaştırılmış, testler üç ünite de uygulanmış, ancak Gibson metodu sadece bir ünite de başarılı olmuş, diğer ünitelerde kısmen başarılı olmuştur.

Gibson metodunda belirsizlik % 0,95 olarak hesaplanırken bu değer termodinamik metotla yapılan ölçümde % 1.3 şeklinde hesaplanmıştır. Ünite 3'te yapılan ölçüm Gibson metodunda sağlıklı sonuç vermemiştir. Ünite 1 ve 2 de yapılan iki ölçümde de verimler % 89 ile % 90 arasında bulunmuştur [10].

Yapılan bu ölçümlere göre, Gibson metodu kolay uygulanan ucuz bir metot olmasına rağmen her ünite de başarılı sonuç vermemiştir. Yani belirsizlik kabul edilebilir değerlerin dışında bulunmuştur. Bu çalışmada başarı ile tamamlanan Gibson metodu ile ölçümde oldukça yüksek doğruluk elde edilmesine rağmen özellikle yüksek güçlü türbinlerde bu doğruluk değerlerine her zaman ulaşmak zordur. Termodinamik metotta ise her ölçümde başarılı sonuç alınmıştır. Ölçüm doğruluğu ise uluslararası standartların kabul edilebilir sınırlarının oldukça üstündedir.

Bu metotların yanı sıra indeks testler sıklıkla işletmede yol gösterici olarak kullanılır. Normal şartlarda indeks test sadece debi hakkında ve dolayısı ile verim hakkında bağıl bilgi verir. Bununla beraber, bağıl debi ölçüm metodu mutlak debi ölçüm metodu ile kabule edildiği zaman indeks metot mutlak ölçümlerdeki belirsizliğin büyük boyutlara ulaştığı işletme şartlarında kabul testlerini yerine getirmede kullanılabilir. Bu gibi durumlarda, indeks test saha kabul testlerinin bir parçası olarak değerlendirilebilir.

1.4.2. Hidrolik Makinenin Verimi

Bir hidrolik makinenin saha verimlilik testi ile bulunan hidrolik performansı üretici tarafından garanti edilenlerle mukayesesi için kullanılır. Şekil 1.7'de direkt metotla türbin verimlilik ölçümü prensip şeması gösterilmiştir. Bu yapılan test özgül hidrolik enerjinin, debinin, mekanik enerjinin, dönme hızının ve verimin mutlak değerlerinin değerlendirilmesini kapsar. Verim elektrik makinesi yardımı ile dönüştürülmüş mekanik güç (P_m) ve sudan dönüştürülmüş hidrolik güç (P_h) ile hesaplanabilir.

Genel olarak bir hidrolik türbin makinesinin verimi (17) eşitliği ile verilir.

$$\eta = \frac{P_m}{P_h} \quad (17)$$

Ayrıca verim, doğrudan kayıplar nedeniyle su sıcaklığının yükselmesi esasına dayanan termodinamik metot yardımıyla doğrudan (18) eşitliği ile elde edilebilir.

$$\eta = \eta_h \cdot \eta_m = \frac{E_m}{E \pm \frac{\Delta P_h}{P_m} \cdot E_m} \cdot \frac{P}{P_m} \quad (18)$$

Burada; η_m , mekanik verim η_h , hidrolik verim E_m , mekanik enerji P_m , mekanik güç ΔP_h , hidrolik güç değişimidir.

Termodinamik metodun temel avantajı debi ölçümünü gerektirmemesi olarak ifade edilebilir. Termodinamik metot akışkan üzerinden enerjinin sudan türbine aktarıldığı *enerjinin korunumu yasasının* (termodinamiğin 1. yasası) bir uygulamasıdır. Hidrolik kayıplar geçen suyun ısınmasına neden olur ve bu ısı, suyun özgül ısı kapasitesi yardımı ile hesaplanabilir. 1 kg suyu 1⁰K ısıtmak için gerekli ısı 4188 J'dür[6]. Kısaca termodinamik metot, bu gerçeğe dayandırılarak bir iç verimlilik hesaplama metodudur. Örneğin 427 m düşü ile % 90 verimli bir türbinde su 0.1 °K ısınır. Daha düşük düşülerde bu farklar daha da azdır. Buradan görüleceği üzere çok küçük sıcaklık farkları ölçülmek zorundadır. Yani yüksek çözünürlüğü termometreler gereklidir.

Bir saha türbin verimlilik ölçümü verimlilik eğrisinin gerçek seviye ve biçimi ile orijinal garanti edilen verimlilik değerlerini karşılaştırmak için yapılır.

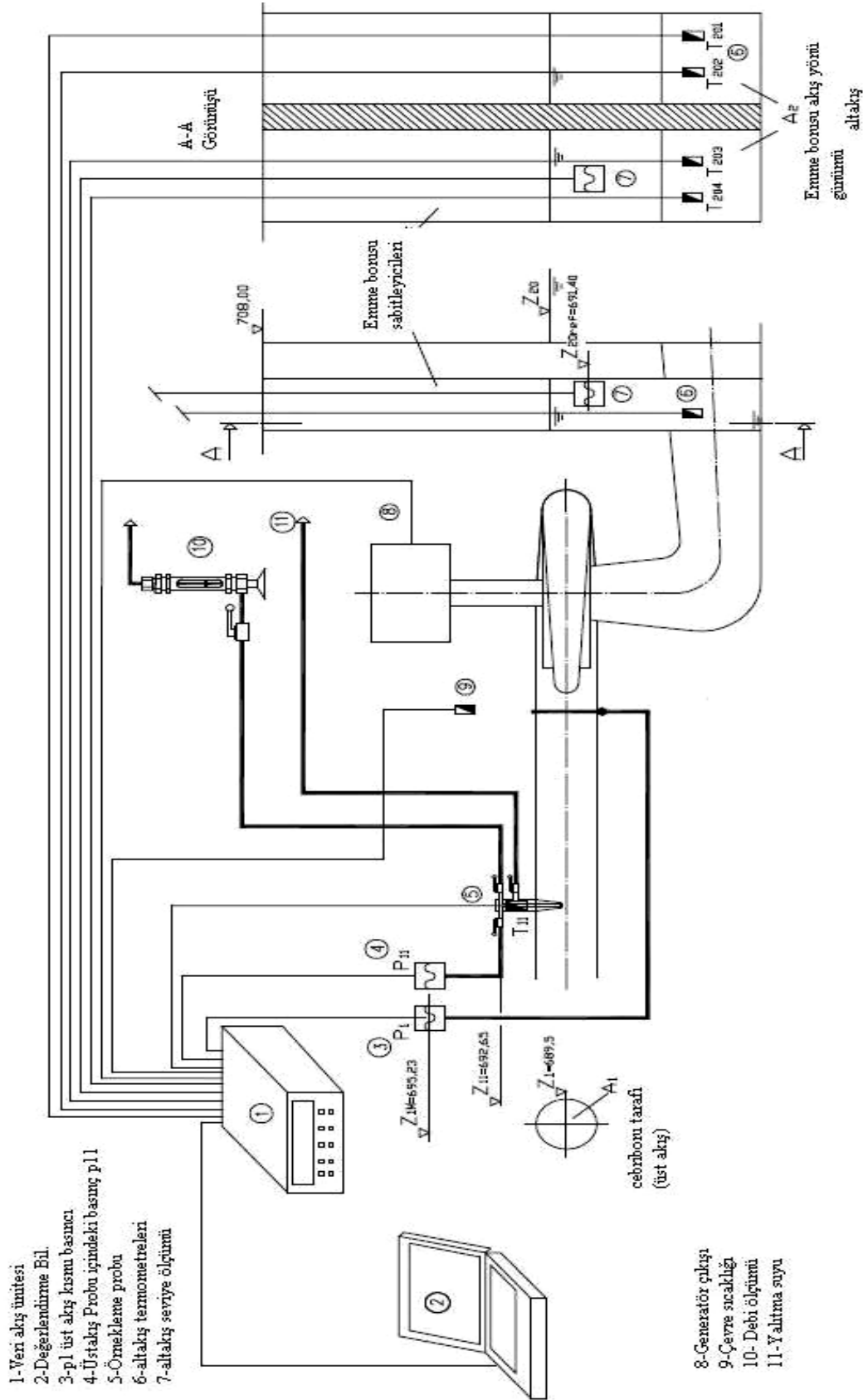
Türbin için tanımlanmış mekanik enerji, özgül mekanik enerji; su ile çark arasında özgül enerjinin dönüşümü ile ilgilidir. Özgül mekanik enerji (e_m) ile çarkın mekanik gücü (P_m) arasındaki bağıntı (19) eşitliğindeki gibidir [6].

$$e_m = \frac{P_m}{(\rho Q)_1} \quad (19)$$

Burada performans; değişkenlerin (basınç, sıcaklık, akışkanlık, seviye) ve suyun termodinamik özelliklerinin ölçümü ile belirlenebilir.

Özgül mekanik enerji ile verimliliği bulmak için özgül hidrolik enerjide ihmal edilen akışın (debi) ölçülmesine ihtiyaç vardır.

Bu metotta genel olarak verimlilik giriş ve çıkıştaki sıcaklık ve basınç değerleri ile değerlendirilmektedir. Ölüm yapılırken yüksek basınç tarafında statik basınç llr ve ilave bir örnekleme probu kullanılır. Bu prob cebri boruya girer ve bir miktar su alır. Probun içinde bir boğaz kısmı ve takiben kısmi genleşen suyun yukarı sıcaklığı ölçen bir termometre bulunur.

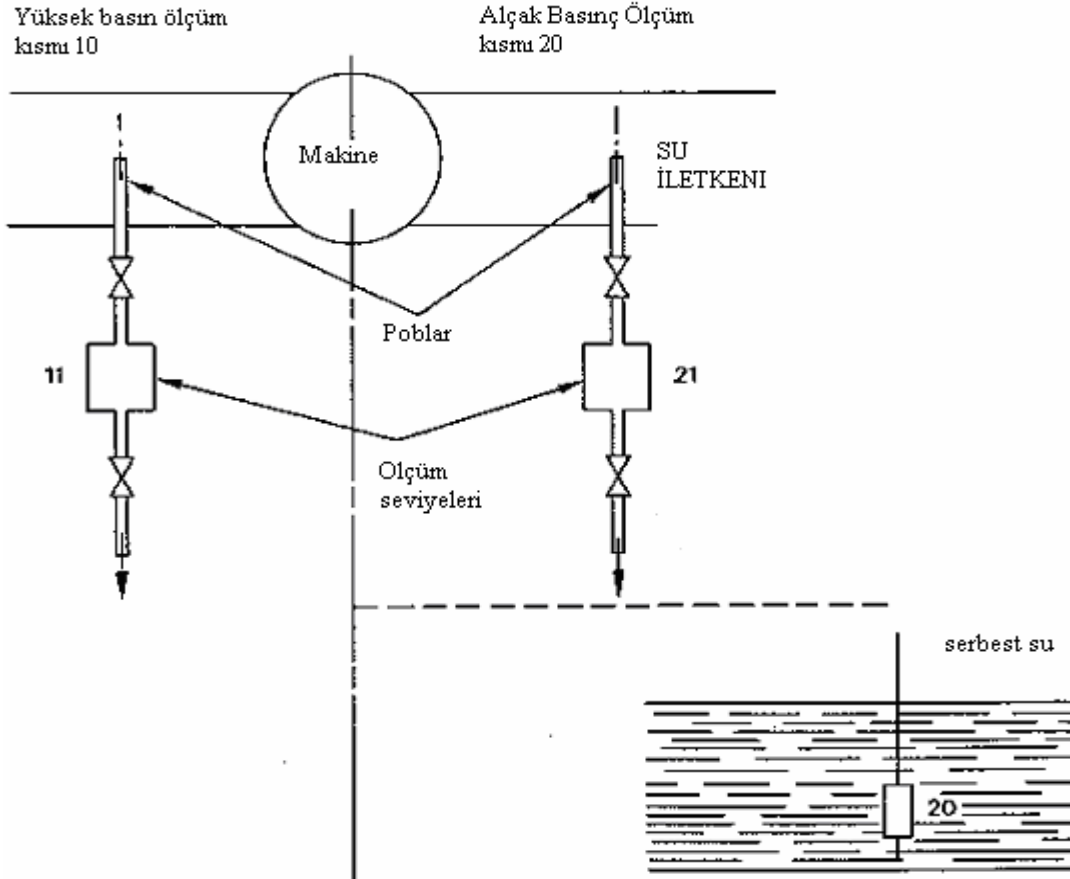


Şekil 1. 7. Termodinamik metotla türbin verimi ölçümü prensip şeması

1.4.3. Türbin Verimliliğinin Hesaplanması

Termodinamik metot ile iç verim, yani suya ısı veren kayıplar hesaplanır. Ölçülen basınç değeri P_{11m} ölçüm pozisyonu ve basınç sensörü arasında kalan yükseklik düzeltilmelidir. Basıncın düzeltilmesi için özgül hacim; basınç ve sıcaklık değerleri ile hesaplanır.

Termodinamik faktörler \bar{a} ve \bar{v} gibi özel düşü c_p değeri de *Nguyen Dinh Lan* ve *Borel Lucien* (EPF-Lausanne, institute of thermodynamique) yasalarına göre hesaplanmıştır. Ek 3'te verilen tablolardan değerler alınabilir ara değerleri bulmak için ise doğrusal iterasyon (kaydırma) kullanılabilir [6] .



Şekil 1. 8 . Termodinamik ölçüm düzeneği şematik gösterimi[6]

Yüksek basınç tarafı (indis 11) ölçüm kısmının ölçüm probları makineye yakın kurulmalıdır. Ölçüm kısmına yakın acil kapama için kelebek vana bulunması istenmeyen bir durumdur.

Deneyimler göstermiştir ki çapı 2.5 m den küçük cebri borular için tek ölçüm probu yeterlidir. 2,5-5 m arasındaki cebri borular için iki ölçüm probu tavsiye edilir. 5 m den daha büyük veya toplam boyu 150 m den daha kısa olan bütün iletkenlerde üç ya da dört ölçüm probu kullanılması tavsiye edilir.

Düşük basınç ölçüm yüzeyinde (indis 21) serbest yüzey ölçüm probları yeterli karışımın sağlanacağı yeterli uzaklığa yerleştirilmelidir. Türbin tepkilerinin yeterli bulunması için maksimum çark çapının 4 ile 10 katı mesafe kabul edilebilir.

Her ölçüm noktasında verimliliği bulmak için 5 ila 10 ölçüm tekrarı yapmak yeterlidir. Bu sayı tamamen ölçümün kararlılığına bağlıdır[6].

Termodinamik metot mekanik enerjinin (e_m) direkt ölçümüne imkan sağlar. Pratikte basınç büyüklükleri, (indis 11) ve (indis 21) ölçüm kısımlarında ölçülür. (Şekil 1. 8) mekanik enerjinin pratik hesaplanmasında, yüksek ve düşük basınç ölçüm kısımları arasındaki kaçak akışlar eklenip veya çıkartılabilir veya bunun yerine bir denge gücü eklenir ya da çıkartılabilir. Bu işlem belirsizliklerin iyi hesaplanması için gerekmektedir.

1.4.3.1. Özgül Hidrolik Enerji

Özgül hidrolik enerji (20) eşitliği ile bulunur

$$e_h = \bar{v} \cdot (p_1 - p_2) + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g \cdot (z_1 - z_2) \quad (20)$$

Francis türbinlerde kuyruk seviyesi serbest olduğundan p_2 basıncı sıfır olarak alınabilir.

Özgül hız \bar{v} eşitlik (21) ve (22) ile hesaplanan basınç ve sıcaklık değerlerine göre bulunur.

$$p = p_{am} + \frac{p_1}{2} \quad \text{ve} \quad T = T_1 \quad (21)$$

Etkin sıcaklık (T_1) ölçülen sıcaklık (T_{11}) daha küçük olur.

$$T_1 = T_{11} - \frac{\bar{a} \cdot (p_1 - p_{11})}{c_p} \quad (22)$$

\bar{a} ve c_p değerleri (23) eşitliğinden hesaplanan sıcaklık ve basınç değerlerine göre bulunur.

$$p = p_{atm} + \frac{(p_1 + p_{11})}{2} \quad \text{ve} \quad T = T_1 \quad (23)$$

1.3.4.2. Hidrolik Güç

Hidrolik gücün değerlendirilmesi için makinenin özgül hidrolik enerji ve yüksek basınç tarafındaki referans kesitinden geçen akışkanın miktarının bilinmesi gerekir.

$$P_h = E(\rho \cdot Q)_1 \pm \Delta P_h \quad (24)$$

Şekil 1. 8 'e göre Ölçüm kesiti ile 1 numaralı referans kesit arasındaki akış kütle miktarı, bu kesitler arasına ilave su verilmesi veya su alınması nedeniyle farklı olabilir.

Ünitenin düzgün işletilmesi için debi ölçümlerinin bir çok kez yapılmasını önlemek ve belirsizliğin artmasını engellemek için ölçümler süresince bütün su transferlerinin durdurulmasına gerek yoktur. Hesaplamalarda sürekli transferler dikkate alınmalıdır.

Hidrolik Güç Düzeltmesinin Analizi[6]: Düzeltme terimi ΔP_h yerel şartlara ve sözleşmeye dayalı tariflerin uygun şekilde analizinden sonra oluşturulmalıdır.

Bu analiz, aşağıdaki hususlar dikkate alınarak oluşturulur.

- Makinenin ve debi ölçüm kesitinin öncesi veya sonrasındaki ana akım devresinden dışarı ve içeri doğru ilave bir akışın olup olmadığı,
- Düzgün bir hidrolik makine işletmesi için yardımcı debi kullanılıp kullanılmadığı;
- Makinenin türbin veya pompa olarak çalışıp çalışmadığı,

Örneğin, debi ölçüm noktası ile türbin modundaki bir makine arasından alınan ve türbin işletilmesinde kullanılmayan herhangi bir suyun P_h ya negatif bir etkisi olacaktır.

Hidrolik Güç Düzeltmesinin Değerlendirilmesi[6]: Transfer edilen suyun akışkan kütle miktarı ve buna bağlı özgül hidrolik enerji her bir düzeltmenin değerlendirilmesinde kullanılır. Bu bağlı özgül hidrolik enerji özellikle çok kademeli makinelerde makinenin özgül hidrolik enerjisinden farklı olabilir.

Bu tür transferler genellikle ana debinin küçük bir parçası olduğundan, basit bir değerlendirme yeterli olacaktır ve ölçüm belirsizliği üzerinde büyük bir etkisi olmayacaktır. Bütün su transferlerinin tesis sahibi ile ölçüm kuruluşu arasında yapılan anlaşmada belirlenmiş olması test esnasında kontrol edilebilmesi tavsiye edilir.

Makinenin düzgün işletilmesi için gerekli bir çok akışkan transferine özel amaçlar (yatakların soğutulması gibi) için ihtiyaç duyulduğundan ve buna bağlı kayıplar ölçüldüğünden veya kolayca değerlendirilebildiğinden dolayı ΔP_h için özel bir ölçüm nadiren gerekli olmaktadır. Böyle durumlarda ise transfer edilen özgül hidrolik enerjinin yaklaşık değeri kullanılabilir.

1.4.3.3. Özgül Mekanik Enerji

Özgül mekanik enerji (25) eşitliği ile verilmiştir.

$$e_m = \bar{a} \cdot (p_{11} - p_{21}) + \frac{v_{11}^2 - v_{20}^2}{2} + c_p \cdot (T_{11} - T_{20}) + g \cdot (z_{11} - z_{20}) + e_x \quad (25)$$

Bu eşitlikte, çıkış sıcaklığı (T_{20}) için yerleştirilen termometrelerden ölçülen değerlerin ortalaması alınır.

$$T_{20} = \frac{T_{201} + \dots + T_{20n}}{n} \quad (26)$$

Ölçülen basınç p_{11m} ölçülen yer ve sensör (algılayıcı) arasındaki yükseklik ile düzeltilmelidir (eşitlik 27).

$$p_{11} = p_{11m} + \frac{g \cdot (z_{11m} - z_{11})}{\bar{v}} \quad (27)$$

Çıkış suyu basıncı atmosfer basıncına eşit olan Francis türbinlerde $p_{21} = 0$ bar kabul edilebilir. Üst akış probunun genişletici kabı içindeki hız v_{11} de çok düşük olduğundan burada ihmal edilebilir. Suyun eş sıcaklık faktörü (\bar{a}) ve suyun özgül ısısına (c_p) karar vermek için eşitlik (28) ve (29) dan faydalanılır.

$$p = p_{atm} + \frac{p_{11} + p_{21}}{2} \quad (28)$$

ve

$$T = \frac{T_{11} + T_{20}}{2} \quad (29)$$

1.3.4.4. Türbin Verimliliği

Termodinamik yöntemde türbin verimliliği aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$\eta_i = \frac{e_m + \delta_{em} + e_x}{e_h} \cdot 100 \quad [\%] \quad (30)$$

1.3.4.5. Hidrolik Türbinde Düşü, Debi, Gücün bulunması

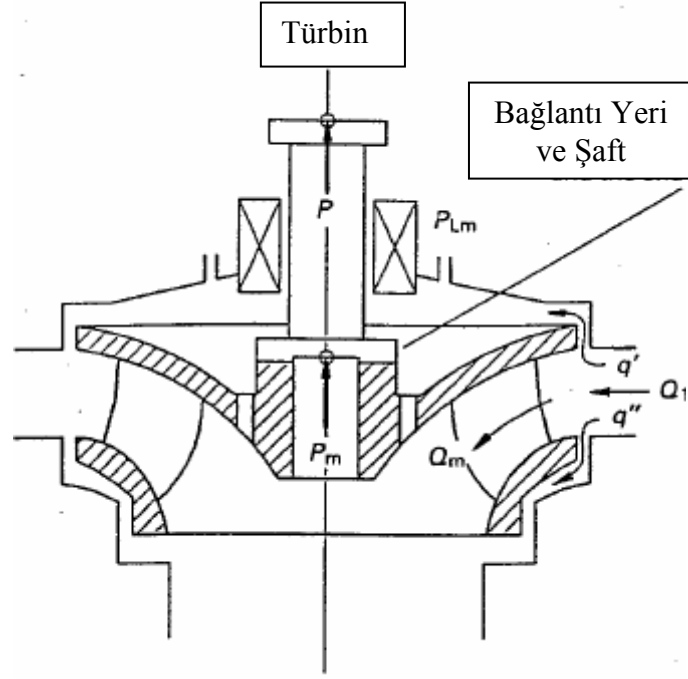
Manometrenin yere göre yüksekliği ve referans seviye:

Şekil 1.7’de gösterilen ölçüm düzeneği sensörlerinin kuruldukları yerin seviyeleri (z_{1m} ve z_{11m}), yüksek basınç tarafı yük hücreleri (p_1 ve p_{11}), üst akış seviyesi (z_1 ve z_{11}), referans seviye (z_2), sensörün kurulduğu yerin seviyesi (z_{2ref}), ve alçak basınç tarafı yük hücresi (p_{z20}), ölçüm ekipmanının yerleştirilmesinden sonra ortaya çıkacak değerlerdir.

Türbin çıkış gücünün saptanması:

Türbin şaftındaki güç generator çıkış gücüne bağlı olarak aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır. Şekil 1. 9 ’da debi ve güç için akış diyagramı gösterilmiştir. Türbin çıkış gücü (31) eşitliğinde verilmiştir. Generator verimi üreticinin vermiş olduğu generator verim eğrisinden alınabilir. Örnek generator verim eğrisi Şekil 1. 11 ’de verilmiştir.

$$P = \frac{P_G}{\eta_G} + P_v \quad (31)$$



Şekil 1.9 . Debi ve Güç için akış diyagramı[6]

Türbin Üzerinden Geçen Debi Miktarı:

Türbin üzerinden akan akışkanın debisini veren ifade eşitlik (32) de yer almaktadır.

$$Q = \frac{P}{g \cdot \rho \cdot H \cdot \eta_i} \quad (32)$$

Net düşünün bulunmasında iç verimliliğin hesaplanmasında kullanılan bağıntıda (eşitlik 33) görüldüğü gibi e_h , net düşünün bulunmasında da kullanılabilir.

$$H = \frac{e_h}{g} \quad (33)$$

Sabit Düşüye Dönüştürme:

Tek bir ölçüm noktası için farklı çıkış güçleri farklı akış miktarlarında hesaplanan net düşüler grafiksel gösterim için tek bir net düşüye (H_R) dönüştürülmelidir. Eşitlik (34) ve (35) de sabit düşüye dönüştürmek için kullanılan ifadeler verilmektedir.

$$Q_R = Q \left(\frac{H_R}{H} \right)^{1/2} \quad (34)$$

$$P_R = P \cdot \left(\frac{H_R}{H} \right)^{3/2} \quad (35)$$

1.4.4. Ölçüm Belirsizliklerinin Analizi

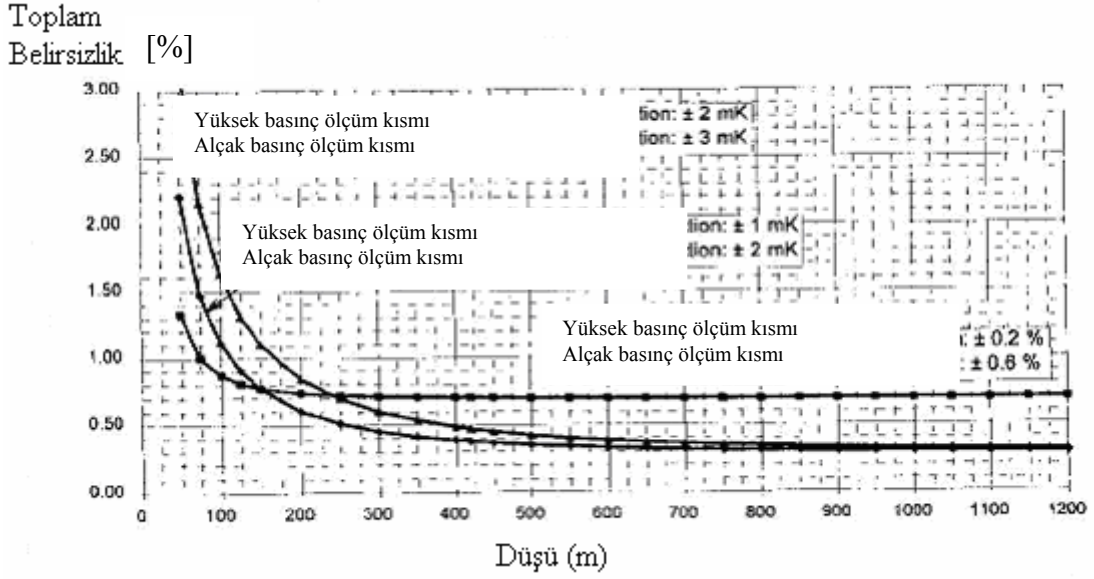
İki ölçüm kısmındaki mekanik enerji belirsizliği mekanik enerjiden veya makinenin hidrolik düşüşünden bağımsız görünmektedir. Belirsizlikler daha ziyade girişteki düzgün olmayan sıcaklık dağılımına, su yollarının hidrolik tasarımına, çevre ile olan ısı değişimine, ölçüm kısmındaki hıza ve hız dağılımına bağlıdır. Burada sorun belirsizliğe nasıl karar verileceğidir. Özellikle alçak basınç ölçüm kısmı belirsizliğinin nasıl bulunacağıdır. Burada dikkat edilecek önemli iki husus şunlardır.

1-Bir istatistiksel analizde kullanılacak veri olması için ölçülen enerji dağılımını kullanarak her ölçüm kısmındaki belirsizliği hesaplamak mümkün olmalıdır. Girişte iki veya daha fazla örnekleme probu gerekli olabilir. Çıkıştaki örnekleme tertibatının tipi istatistiksel değerlendirmeyi etkileyebilir.

2- Örneğin sıcaklık terimi toplam belirsizlik hesaplamasında baskın terim olduğundan her iki ölçüm kısmında da sıcaklık dağılımının belirsizliği olarak ifade edilen enerjinin mutlak sabit büyüklüğünü kullanmak mümkün olmalıdır.

Test kodu kılavuzuna[6] göre girişte 1- 2 mK çıkışta 2- 3mK belirsizlik olması koşuluyla 50 m den 1200 m ye kadar olan düşülerde belirsizlik hesaplamasını yapılabilir. Şekil 1. 10 'da üç adet eğri ile bu diyagram gösterilmiştir. İki yeni eğri 140 m ile 210 m düşülerde sırasıyla IEC 41 eğrilerine uygundur.

Bu gösteriyor ki test koduna göre yapılan bu hesaplama alçak düşülerde hatalı tahmin edilebiliyor, yüksek düşülerde daha yüksek doğrulukla tahmin edilebiliyor. Hesaplamalarda kullanılan bütün aralıklardaki belirsizlikler test kodu Ek A da A1 tablosunda listelenmiştir. Test standardı IEC 60041 tavsiye edilen belirsizliklerin E_m in belli yüzdesi cinsinden verilmesi koşulu muhtemelen değişmelidir [11].



Şekil 1. 10 . Termodinamik metot türbin verimlilik ölçümü toplam belirsizlik[11]

Hulaas H., Bryhni T. ve Dahlhaug O. G., çalışmalarında [12] emme borusu çıkışındaki enerjinin detaylı araştırması için birkaç tane termometre ve hız ölçer kullanarak yaptıkları verimlilik ölçümünün sonuçlarını göstermişler, belirsizlik seviyelerinin hesaplanması için bir öneri de oluşturarak enerji dağılımını tartışmışlardır. Belirsizlik, % 95 güvenilirlik seviyesinde bir istatistiksel yaklaşımla hesaplanarak türbin çıkışındaki problemlerin yeri ve sayısının bir fonksiyonu olarak daha ileri bir seviyede göstermişlerdir. Geleneksel kolektör kullanarak da bir ölçüm yapılmışlar diğer bütün araştırma ölçümleriyle bu ölçümü karşılaştırmışlardır.

Bu ölçümlere göre;

Su hızı ile ilgili olarak ağırlıklı ve ağırlıksız verim arasındaki fark önemli değildir.

Beş seviyede çaprazlanmış geleneksel kolektör ile aynı seviyelerde çaprazlanmış 6 farklı termometreli ölçümler arasındaki fark, sürekli durumda sıcaklıktaki değişim seviyesi ± 1 mK olması koşuluyla % 0.2 civarındadır.

Emme borusu kıvrımı içindeki etkin yayılımının yetersizliği yüzünden, özgül enerjinin değişimi en iyi verim noktasından kat kat daha büyüktür.

Emme borusu çıkışındaki enerji dağılımı ile ilgili belirsizlik seviyesi prob yerlerinin sayısı artırılarak etkin bir şekilde azaltılabilir. Ancak çok noktadan ölçümün bütün belirsizlikleri büyük ölçüde azaltıp azaltmadığı hala bir problemdir. Ancak çok noktadan ölçüm bir yandan özgül enerjinin dağılımı ile ilgili hata seviyesini düşürürken diğer yandan

maliyeti artırmaktadır. Çıkışta bir termometre yerine altı adet termometre ve altı adet hız probu kullanılarak ölçüm sistemine yeni hata kaynaklarının eklendiği göz önünde bulundurulması gereken bir durumdur [12].

Verim ölçüm belirsizliklerinin analizi için kullanılan ifade eşitlik (36) ile verilmiştir[6].

$$f_{\eta} = \frac{e_{\eta}}{\eta} = \sqrt{f_{e_h}^2 + f_{e_m}^2} \quad (36)$$

Burada (f_{η}) sistematik ölçüm belirsizliği değerlendirmesini göstermektedir.

1.4.4.1. Özgül Mekanik Enerjinin Değerlendirmesinin Belirsizliği

Özgül mekanik enerjinin değerlendirilmesinin belirsizliği eşitlik (37) ve (38)'e göre yapılır. Özgül mekanik enerji için çevresel enerji dağılımının göz ardı edilmesi yüzünden oluşacak ilave belirsizlikler türbinlerde:

- Yüksek basınç tarafı için $\pm 0,2\%$
- Alçak basınç tarafı için $\pm 0,6\%$

çivarında olur[6].

$$f_{e_m} = \frac{e_{e_m}}{e_m} \quad (37)$$

$$e_{e_m} = \sqrt{e_p^2 + e_T^2 + e_v^2 + e_z^2 + e_x^2} \quad (38)$$

Bu eşitlikte kullanılan belirsizlikleri nasıl hesap edileceğini incelersek;

Basınç belirsizliği eşitlik (39) da verilen ifade ile giriş ve çıkışta ölçülen basınç ve sıcaklık belirsizliklerine bağlı olarak hesaplanır.

$$e_p^2 = e_{p11}^2 + e_{p21}^2 + [(T_{11} + T_{20})e_{cp}]^2 \quad (39)$$

Sıcaklık farklarının belirsizliğini (e_T) bulmak için termodinamik faktör \bar{a} değerlendirilmesi belirsizliği ($e_{\bar{a}}$) eşitlik (40) ile hesaplanır.

$$e_a^2 = e_{a_{tab}}^2 + e_{a_{temp}}^2 \quad (40)$$

Sıcaklık farklarının belirsizliğini veren ifade (41)'de verildiği gibi sıcaklık ve enerji belirsizliklerinin fonksiyonudur.

$$e_T^2 = e_{\Delta T}^2 + e_T^2 + [(T_{11} + T_{20})e_{cp}]^2 + e_{UW}^2 + e_{OW}^2 \quad (41)$$

Faktörler e_{UW} ve e_{OW} üst akış ve alt akış ölçüm kısımlarında enerjinin değerlendirilmesi için bulunan belirsizliği gösterir.

Kinetik enerji belirsizliğini veren suyun giriş ve çıkıştaki hızlarının belirsizliğine bağlı ifade (42) eşitliğindeki gibidir.

$$e_v^2 = e_{v11}^2 + e_{v21}^2 \quad (42)$$

Potansiyel enerji belirsizliğini veren giriş ve çıkıştaki yükseklik ölçüm belirsizliklerine bağlı ifade (43) eşitliğindeki gibidir.

$$e_z^2 = e_{z11}^2 + e_{z21}^2 \quad (43)$$

Türbinin yüzeyindeki sıcaklık dağılımı ve sıcaklığın düzeltme faktörü için belirsizlik uygun koşullarda (e_{ex}) sıfır olarak alınabilir.

1.4.4.2. Özgül Hidrolik Enerjinin Değerlendirilmesi İçin Belirsizlik

Özgül hidrolik enerjinin değerlendirilmesi için belirsizlik hesaplanırken (44) ve (45) eşitlikleri kullanılır.

$$f_{e_h} = \frac{e_{e_h}}{e_h} \quad (44)$$

$$e_{e_h} = \pm \sqrt{e_p^2 + e_v^2 + e_z^2} \quad (45)$$

Buradaki basınç belirsizliği (e_p), (46) eşitliği ile hesaplanır.

$$e_p^2 = e_{p1}^2 + e_{p2}^2 \quad (46)$$

Kinetik enerji belirsizliği (e_v) eşitlik (47) ile hesaplanır.

$$e_v^2 = e_{v1}^2 + e_{v2}^2 \quad (47)$$

Potansiyel enerji belirsizliği (e_z) eşitlik (48) ile hesaplanır.

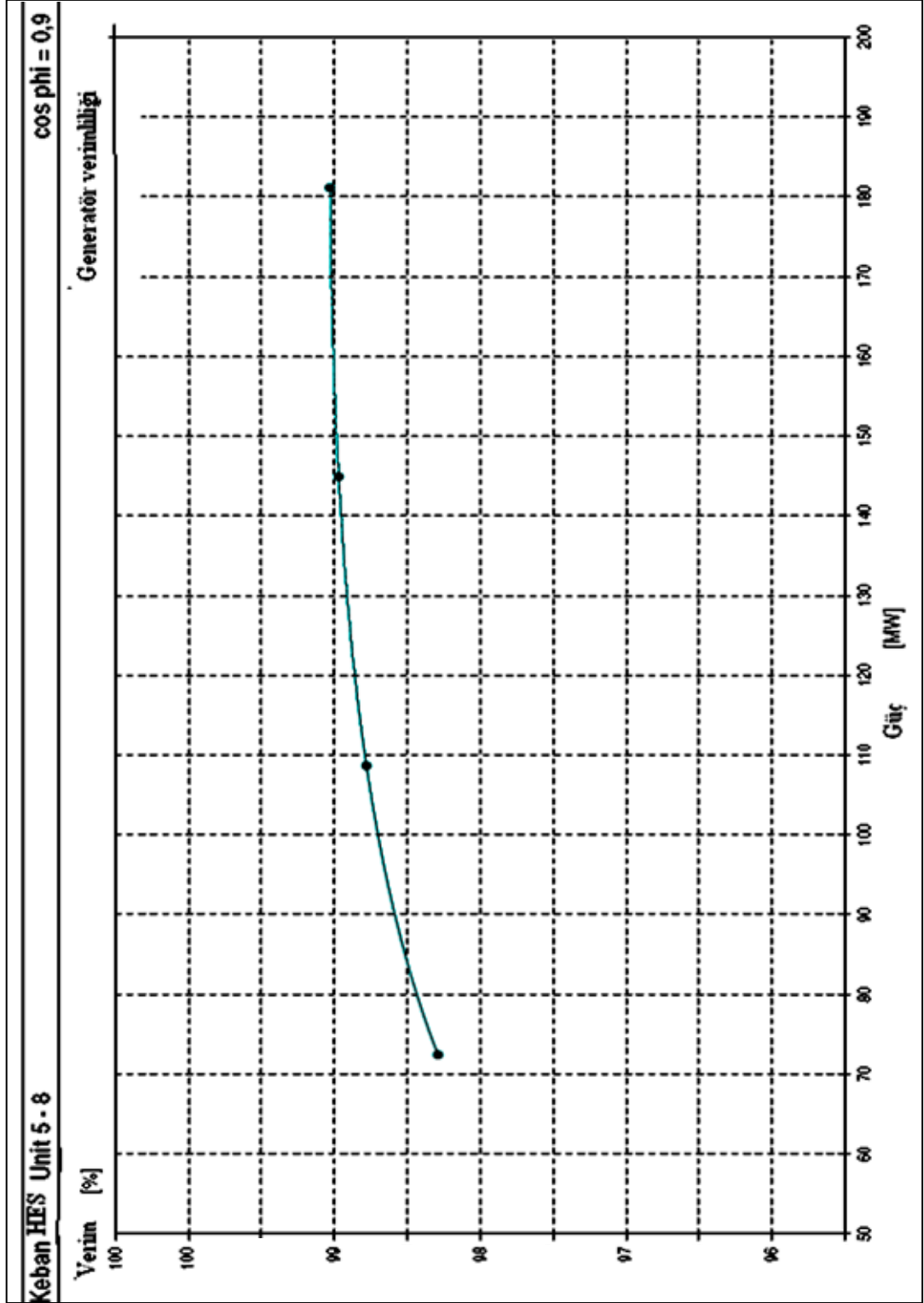
$$e_z^2 = e_{z1}^2 + e_{z2}^2 \quad (48)$$

Yükseklik ve hız belirsizliği hesaplamasında, üst akış genleştirici kap içindeki hız v_{11} çok düşük olduğundan bu değerlendirme dikkate alınmayabilir.

Toplam çıkış suyu akışı (49) ve (50) eşitlikleri ile bulunur.

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} \quad (49)$$

$$v_{20} = \frac{Q}{A_2} \quad (50)$$



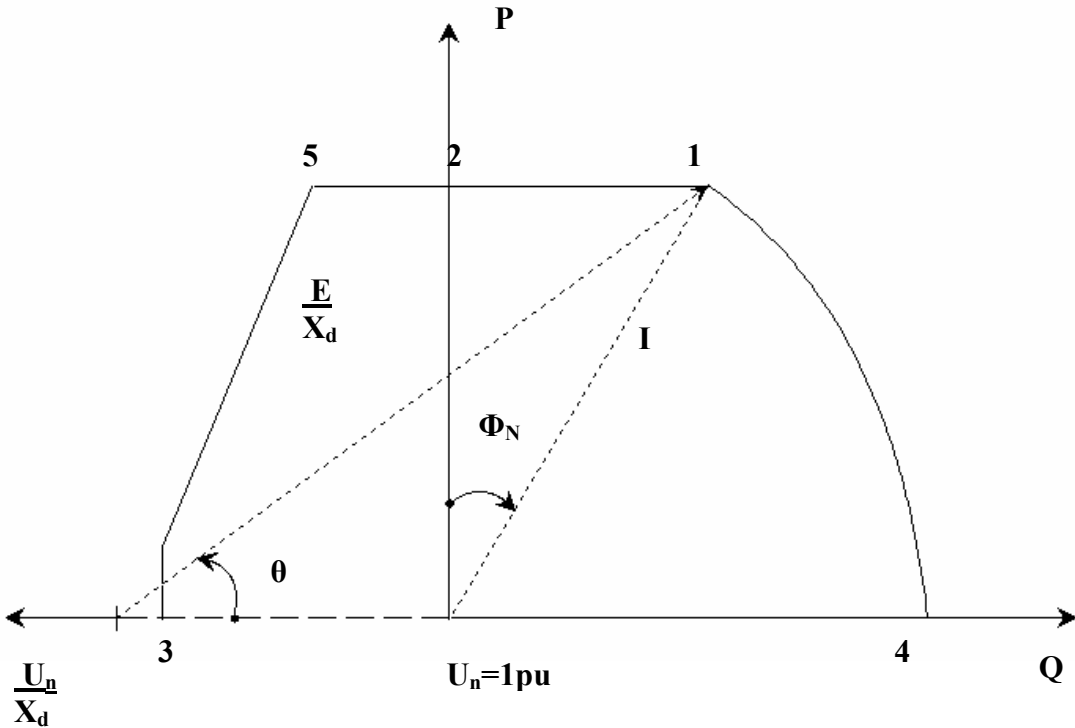
Şekil 1. 11 . Generatör verimlilik eğrisi örneği

1.5. Elektrik Teçhizatlarının Verimliliği

1.5.1. Generatör Verimi

Bugünkü gelişen teknolojiye senkron generatörlerde oldukça büyük güçlere çıkılabildiği gibi, genaratörlerde % 98'in üzerinde verimlere ulaşılabilmektedir. Verimin yüksek olmasında kullanılan materyallerin kalitesinin yanında yapım tekniği de önemlidir. Genaratörlerdeki verim için üretici firmalar en yüksek teknolojiyi kullanarak mümkün olan en yüksek verimlere ulaşmayı amaçlamaktadırlar. Fakat bunun yanında işletme verimliliği de en az imalat kadar önem arz etmektedir. Zira uygun çalışma şartları sağlanmamış generatörde maksimum verim almak olası değildir.

Bu sebeplerle generatörler çalıştırılırken, imalatçı firmanın verdiği işletme talimatlarına uyulmasının yanında, yine imalatçı firmanın verdiği çalışma eğrilerine (Şekil 1. 12) uygun çalışılması sonucunda daha verimli bir çalışma elde edilir [1] .



Şekil 1. 12 . Generatör Çalışma Eğrisi

Şekil 1. 12 'de aktif güç-reaktif güç-cosφ parametrelili örnek bir yüklenebilme eğrisi verilmiştir. Bu eğri incelendiğinde, teorik olarak reaktif gücün sıfır olması halinde en yüksek aktif güce ulaşılacağı açıktır. Bunun yanında endüktif olarak makine yüklendiğinde doğal olarak cosφ' nin düştüğü buna bağlı olarak ta aktif gücün bir miktar düştüğü görülür, öyle ki makinedeki endüktiflik daha da artırılırsa cosφ'nin daha da düşmesi söz konusu olur ve belli noktadan sonra aktif güçten düşme yönünde ani kırılma olduğu görülür ki bu durum teknik olarak aşırı ikaz (overexcited) bölgesi olur ve makine çalışma eğrisinin dışına çıkar. Keza eğri incelendiğinde makinenin kapasitif bölgede çalışması halinde de yine aynı olumsuz durum görülür. Ancak bu defa kapasitif durumun artması ile yine aktif güçte ani düşmeye sebep olan düşük ikaz (underexcited) bölgesine geçer. Tüm bunlardan senkron generatörün uygun çalışma şartlarının sağlanamaması halinde nasıl verimsizleşeceği görülür ki bu da işletme verimliliğinin çok önemli olduğu gerçeğini ortaya koyar.

Başka bir örnekte; bir generatör güç katsayısı (cosφ) yüksek iken, makinenin cosφ=0.8 endüktif durumda çalıştırılması halinde uç gerilimini sabit tutmak için uyarma akımını daha artırmak gerekir. Uyarma akımı artınca uyarma sistemi kayıpları artar verim daha da azalır.

Bunların dışında bakımların zamanında yapılması, makinenin aşınma sınırları dışında çalıştırılması gibi doğrudan işletme şartlarındaki iyileşmenin de işletme verimliliğini artıracığı açıktır. İşletme verimliliğine bir örnek verilecek olursa, maksimum ısınma sınırından yaklaşık olarak 8 ya da 10 derecelik bir sıcaklık artışı, yalıtkan malzemenin ömrünün yarıya inmesine ve böylece makine ömrünün azalmasına yol açacağı deneylerle tespit edilmiştir.

1.5.2. Trafo Verimi

Trafolar hareket etmeyen elektrik makinelerinden olup, belirli bir gerilimdeki elektrik enerjisini diğer bir gerilime çevirmeye yararlar. Özellikle enerji iletimindeki rolleri büyüktür. Trafolar genel olarak endüstride bir ve üç fazlı olarak imal edilmekle birlikte bazı hallerde faz sayıları farklı olarak ta yapılırlar.

Trafoların diğer elektrik makinelerine nazaran en büyük üstünlükleri verimlerinin yüksek oluşudur. Büyük trafolarda malzemeyi ekonomik olarak kullanarak % 99 ila % 99,5 oranlarında verim elde etmek mümkündür.

Kayıplar: Normal tipteki trafolarda, kullanılacakları amaca göre müsaade edilebilen kayıplar çeşitli normlarla verilmiştir.

Trafoalarda en uygun verime , bakır kayıplarının demir kayıplarına eşit olması ve bakır kayıplarının da primer ve sekonder sargılara eşit bir şekilde bölünmesi halinde erişilir. Demir kayıpları gerilime bağlı olup sabit bir primer geriliminde değişmezler. Halbuki bakır kayıpları yükü değişir.

Bakır ve demir kayıplarının ayarlanması trafonun işletmedeki çalışma şekline bağlıdır. Mesela aydınlatma trafolarında olduğu gibi, trafonun günün büyük bir kısmını yüksüz geçirmesinden demir kayıplarının nispeten büyük olması trafonun yıllık veriminin düşük olmasını sağlar. Buna karşılık santralarda yüksek gerilim besleyen trafolar daima nominal güçlerinde çalışacakları için bunlarda kayıpların eşit olması yıllık verimlerini yükseltir. Buradan da anlaşılıyor ki devamlı olarak nominal yük altında çalışmayan trafolar senelik verimin göz önüne alınması gerekir. Trafonun senelik verimi senelik demir ve bakır kayıplarının birbirine eşit olması halinde maksimumdur.

Demir kayıpları: Genel olarak histeresiz ve Foucault akımları kayıplarından meydana gelen bu kayıplar normal işletmede sabit bir gerilim ve frekansla çalışıldığında değişmezler. Bu kayıplar materyal sabitelerinden başka yalnız B indüksiyonu ile frekansa bağlıdır.

Demir içerisinde manyetik alanın sürekli yön değiştirmesinden demir içerisinde elektromotor kuvveti indüklenir. Bunlar demir içerisinde bir takım ufak daireler çizen akımlar oluştururlar ki bu akımlara girdap ya da Foucault akımları denir. Bu akımları mümkün olduğu kadar ince sac levhalar seçmek suretiyle küçük tutmak gerekir. Aksi halde demirin fazla ısınmasına ve verimin düşmesine neden olurlar.

Bakır kayıpları: Bu kayıplar da demir kayıplarında olduğu gibi iki kısma ayrılır. Birincisi doğru akımın sargı üzerinde meydana getirdiği bakır kaybı, ikincisi alternatif akımdan ötürü bakırda meydana gelen Foucault akımlarının sebep olduğu kayıplardır. Doğru akımda bunlardan yalnızca birisi, alternatif akımda ise her ikisi aynı anda oluşur.

Verim: Daha önce ifade edildiği gibi verimin maksimum olması için demir ve bakır kayıplarının birbirine eşit olması gerekir. O halde değişken bakır kaybı hangi yükte sabit demir kaybına eşit olursa verim o yükte maksimum olacaktır. Buna göre;

- Demir kaybı nominal bakır kaybına eşit ise, verim trafonun nominal gücüne eşit bir yükte maksimum değerini alır.
- Demir kaybı nominal bakır kayıptan küçük ise trafonun verimi, nominal gücün altında bir yükte maksimum değerini alır.

- Demir kaybı nominal bakır kaybindan büyük ise trafonun verimi nominal gücün üstünde bir yükte maksimum olur.

1.5.3. Bara ve İletken Kayıpları

Doğru malzeme seçimi ve doğru dizaynla şalt teçhizatı kayıpları veya bara-iletken kayıpları azaltılabilir. Zira enerji naklinin uygun kesitle transferi hat direncinin düşmesine yol açar, dolayısı ile ısınmayla ortaya çıkacak hat kayıplarını azaltır. Ayrıca kablo başlığı, ayırıcı kontakları gibi materyallerin doğru seçimi de kayıpları azaltır. Çünkü bilinen bir gerçektir ki ek yerlerinin ve bağlantı noktalarının farklı malzemedan yapılmış olması pil etkisi olgusundan dolayı hem işletmeciliği zorlaştırmakta, hem de kayıpları artırıcı rol oynamaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Keban HES’de Termodinamik Metotla Yapılan Testler

2.1.1. Genel

Bu çalışmada, Keban HES Ünite 4-Ünite 5 türbinleri saha verimlilik ölçümü uygulaması yapılarak verimlilik eğrisinin gerçek seviyesi ve şekli ile orijinal garanti edilen verimlilik seviyesi ve şekli karşılaştırılmış, zamanla çalışan bu hidrolik türbin çarklarının verimlerinin ne kadar ve nasıl değiştiği incelenmiştir.

Saha verimlilik testi bu tezin daha önceki bölümlerinde de anlatılan IEC-600 41 de izah edildiği şekilde termodinamik direkt metotla yapılmıştır.

2.1.2. Türbin Teknik Verileri

Keban HES üniteleri Keban 1-4 ünite(1975) ve Keban 5-8 (1982) ünite toplam 8 adet Francis tipi türbinin teknik verileri Tablo 2. 1’de verildiği gibidir .

Tablo 2.1. Keban HES türbin teknik verileri

Nominal düşü	145 m
Ünite başına akış kapasitesi	135 m ³ /s
Hız	166,67 dev/dk
Ünite gücü	183 MW

2.1.3. Keban HES’ de Yapılan Verimlilik Ölçümleri

Bu çalışma kapsamında Keban Hidroelektrik Santralinde (Keban HES) iki kez termodinamik metotla test uygulaması yapıldı. Birinci test, uygulanan ünitenin alt akış yani çıkış tarafında sıcaklık sensörlerinin sabitlendiği ekipman vorteksten kaynaklanan çok kuvvetli titreşime maruz kaldığından ölçümde kullanılan Pt 2000 termometrelerin kabloları veya kendileri kısa zamanda kullanılmaz hale geldiğinden sağlıklı sıcaklık ölçümü yapılamadı ve test başarısızlıkla sonuçlandı. İkinci test esnasında bu problemin çözümü

için yeni metotlar geliştirilerek alçak basınç tarafındaki sıcaklık ölçüm probu ve termometrelerin yerleştirildiği odundan tutucular titreşimin etkilerine karşı Resim 2’de gösterildiği gibi daha fazla dayanıklı hale getirildi ve test başarı ile sonuçlandırıldı. Bu çalışmada yapılan bu ikinci test sonuçları dikkate alınmıştır.



Resim 2. Altakiş kısmı termometrelerinin vibrasyondan etkilenmeyecek şekilde yerleştirilmesi

Gündüz göldeki sıcaklık farklarının yüksek olmasından dolayı ölçüm sonucu sağlıklı alınmadığından ölçümler gece yarısından sonra yapılmıştır. Bu testler kapsamında toplam 4 grup ölçüm yapılmıştır Ek1 de verilen tablolarda da görüleceği gibi Keban HES in ikinci grup (Keban II: üniteler 5,6,7,8) ünitelerinden Ünite 5’e ait 3 grup ölçüm yapıldı. Bunlar M5, M5(A) ve M5(B) olarak adlandırıldı. Keban HES birinci grup ünitelerinden (Keban I: Üniteler 1,2,3,4) Ünite 4’ e ait bir grup ölçüm yapıldı M4 olarak adlandırıldı.

2.1.4. Ölçüm Metodu ve Uygulaması

Verimlilik ölçümü termodinamik direkt metot ile yapılmıştır. Bu metotta temel prensip, hidrolik kayıpların geçen suyun ısınmasına neden olması ve bu ısının, suyun özgül ısı kapasitesi yardımı ile hesaplanabilmesidir. 1 kg suyu 1 K ısıtmak için gerekli ısının 4188 J olduğundan daha önce bahsedilmiştir. Buna göre hesaplanan bu kayıp enerjinin türbine giren enerjiye oranı kayıp enerji oranını vermektedir.

Bu metotta çok küçük sıcaklık farkları ölçülmek zorundadır, zira türbin girişi ile çıkışı arasındaki sıcaklık farkları düşüye göre değişmekle beraber 0.01°K civarındadır. Küçük düşülerde bu farklar daha da azdır.

Termodinamik metotla verimlilik ölçme metodunda genel olarak verimlilik giriş ve çıkıştaki sıcaklık ve basınç değerleri ile değerlendirilir. Yüksek basınç tarafında statik basınç ölçülmeli ve ek bir örnekleme probu kullanılmalıdır. Bu prob yüksek basınçlı boruya (cebri boru) girerek bir miktar su alır.(Resim 3) Probun içinde bir boğaz kısmı ve kısmi genleşen suyun yukarı kısım sıcaklığını ölçen bir termometre bulunur.



Resim 3. Yüksek basınç probunun menhol kapağına sabitlenmesi

Keban Santralinde cebri boru alt tarafında düz kesitli batardo (çıkış sularının bir bakım çalışması esnasında emme borusuna girmesini engellemek için kullanılan kapak) kapağı bulunmaktadır. Alçak basınç ölçüm probu bu kapak üzerine emme borusunun iki çıkışına iki termometre iki bölüme de yerleştirilmek suretiyle ölçümler yapılmıştır (Resim 4) .



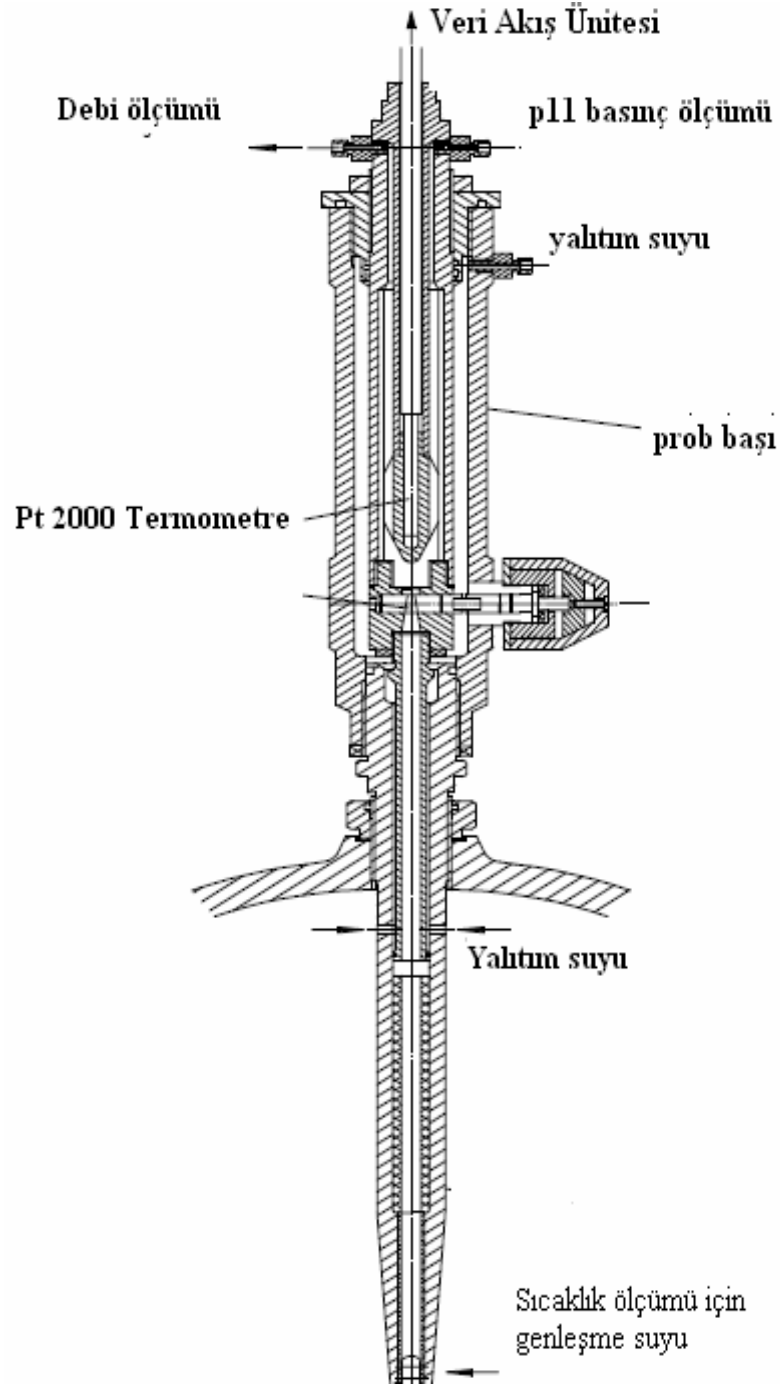
Resim 4. Altakış kısmı sıcaklık ölçüm düzeneğinin yerleştirilmesi

2.1.5. Ölçüm Ekipmanları

2.1.5.1. Yüksek Basınç Tarafı Ölçüm Probu

Örnekleme probu yüksek basınç tarafında menhol kapağına türbin ekseninden 15 m uzağa yerleştirilmiştir. Prob tüpüne genişleme kabı ve termometre ile birleşmektedir.

Kısmi genişleme kabı iki katmanlıdır. Doğruluğu etkileyebilecek olan termal radyasyonu önlemek için dış prob izole su ile çevrilidir. Resim 5 te gösterilen ve Şekil 2. 1 'te çizim detayı gösterilen prob cebri boru içine yerleştirilmiştir. Borudan suyu uzatılmış bir delik sayesinde alır.



Şekil 2. 1 . Yüksek basınç probu



Resim 5. Yüksek basınç ölçüm probu

Düz bir düzlemde bulunan ayarlanabilir valf ile çekilen su atmosferik basınca tabi tutulur. Valf ayarlamak suretiyle çekilen su miktarı değiştirilerek genişleme kabındaki genişleme, yüksek basınç ve alçak basınç tarafındaki sıcaklık farkı sıfır olacak şekilde ayarlanabilir.

Keban HES türbinleri verim ölçümünde 600 mm uzunluğunda menhol (çıkış) kapağı olduğundan toplam 1100 mm örnekleme probu hortumu kullanılmıştır. Prob çevresindeki cebri boru çapı 5200 mm dir.

4650 mm uzunluğunda salyangoz kısmında yüksek basınç probunun 10 m altında toplam basınç (giriş basıncı) P_1 ölçüldü.

2.1.5.2. Kullanılan Termometre

Alt akış ve üts akış sıcaklık ölçümleri için Pt-2000 kullanıldı. Termometrenin hassasiyeti 0.001°K dir. Kullanılan Pt 2000 termometrelerin her biri aynı şekilde kalibre edildi ve 4-kablo bağlantı tekniği uygulandı. Bu termometrenin teknik özellikleri tablo 2.2’de verilmektedir.

Ölçümün IEC 60041 standartlarına uygun olması için ölçüm başladıktan ve bittikten sonra Pt 2000 termometreler değişik sıcaklıklarda sıfırlanarak hassasiyetin uygun olup olmadığı kontrol edildi. Tablo 2.3’te sıfır noktası ayar değerleri verilmiştir.

Tablo 2. 2. Bir PT 2000 termometre teknik özellikleri

Prob		Chromel Alumel (Type K) Thermocouple
Ölçüm Aralığı PT2000:	düşük:	-85.0° - 199.9°F
	yüksek:	-85° - 1999°F
Hassasiyet		±0.5% of okuma ±1 dijital
Çözünürlük	düşük:	0.1°F veya °C
	yüksek:	1°F veya °C
Ekran		0.5" LCD, 3.5 dijital görüntü
Örnekleme Oranı		2.5 ölçüm/saniye
İletken direnci		En fazla 150 ft. < 0.1°F sapma
Prob Bağlantısı		Küçük K tipi iki çatal dişli soket
Çalışma sıcaklığı		32° - 120°F (0° - 50°C)
Muhafaza edilme sıcaklığı		14° to 140°F (-10° to 60°C)

2.1.5.3. Basınç Ölçümü

Yüksek Basınç Ölçümü: Üst kısım basınç ölçümü için (p_1 , p_2) *Baumer* (40 bar) marka basınç ölçerler kullanıldı. Resim 6 da basınç ölçümü için kurulan düzenek gösterilmektedir. Sistem basınç bilgisini yüksek basınçlı ortama direkt bağlanmış bir tanktan almaktadır.



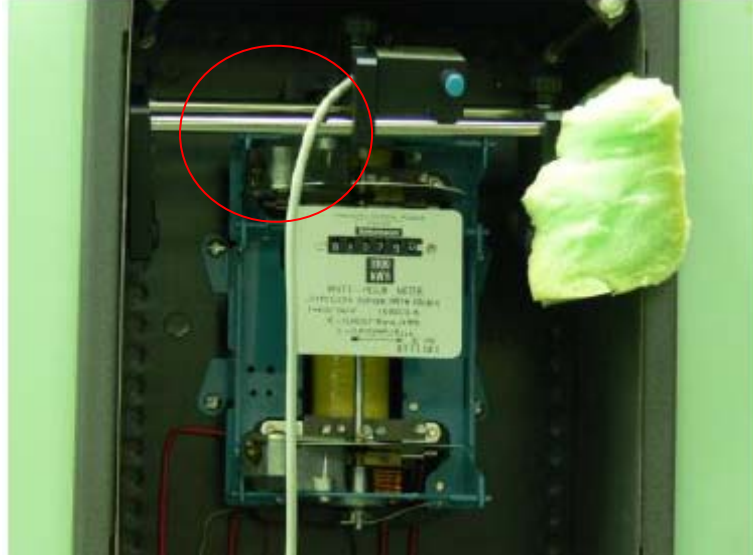
Resim 6. Basınç transdüserlerinin yerleştirilmesi

Bu basınç ölçerler *Desgranges & Hout* (dynamometer series 21000). Basınç algılayıcı ile ölçüm yapılmadan önce ayarlandı.

Mansap (çıkış) Suyu Seviye Ölçümü: Çıkış suyu seviyesini (z_{20}) ölçmek için *Wika*, 891.13.530 tipi ölçüm aralığı 0-0,25 bar olan basınç ölçerler kullanıldı. Ölçüm yapılmadan önce kalibre edildi. Çıkış suyu seviyesi ölçülen bu alçak basınç suyun potansiyel enerji bağıntısından faydalanılarak yüksekliye dönüştürüldü.

2.1.5.4. Güç Ölçümü

Generatör gücü, $\cos \varphi = 1,0$ olacak şekilde kWh sayacına foto elektrik sensör yerleştirilerek Resim 7'de gösterildiği gibi ölçüldü. Ancak gerçekte ünite $\cos \varphi = 0,9$ olarak çalışmaktadır. Gerçek verimlilik burada okunan değerlerden biraz daha yüksek olabilir. Bu yüzden buna ek olarak generatör kontrol panosundan da güç bilgisi okundu



Resim 7. Keban HES verimlilik ölçümünde kullanılan güç ölçüm algılayıcısı

2.1.5.5. Atılan Suyun Debisinin Ölçümü

Atılan suyun debisini ölçmek için yüksek basınç tarafına *Winter Kennedy* yöntemiyle debi ölçen bir debi metre yerleştirildi. Bu debi metre model test verilerine göre kalibre edildi.

2.1.5.6. Ölçümün Yapılması ve Ölçülen Verilerin Kaydedilmesi

Bu test esnasında başlıca şu veriler ölçülmüştür.

- Basınç
- Sıcaklık
- Mansap seviyesi
- Generator çıkışı gücü
- Ortam sıcaklığı

Her ölçüme başlamadan önce ölçümde kullanılacak termometrelerin çalışır durumda oldukları tekrar gözden geçirildi ve termometrelerin sıfır noktası ayarları yapıldı. Tablo 2. 3'te termometrelere ait sıfır nokta ayarları verilmektedir.

Tablo 2. 3. Termometrelere ait sıfır nokta ayar değerleri

Tarih	Zaman	T11	T201	T201 - T11
07.06.06	13:51:37	13,90830	13,90921	0,00091
07.06.06	14:02:46	14,01740	14,01912	0,00172
07.06.06	14:11:10	4,94000	4,94034	0,00034
07.06.06	14:13:20	4,99457	4,99539	0,00082
Tarih	Zaman	T11	T202	T202 - T11
07.06.06	13:51:37	13,90830	13,90871	0,00041
07.06.06	14:02:46	14,01740	14,01760	0,00020
07.06.06	14:11:10	4,94000	4,94029	0,00029
07.06.06	14:13:20	4,99457	4,99529	0,00072
Tarih	Zaman	T11	T204	T204 - T11
07.06.06	13:51:37	13,90830	13,90902	0,00072
07.06.06	14:02:46	14,01740	14,01855	0,00115
07.06.06	14:11:10	4,94000	4,94055	0,00055
07.06.06	14:13:20	4,99457	4,99579	0,00122
Tarih	Zaman	T11	T204	T204 - T11
09.06.06	13:22:03	12,45650	12,45667	0,00017
09.06.06	13:24:27	12,47753	12,47733	-0,00020
09.06.06	13:31:00	4,54557	4,54537	-0,00020
09.06.06	14:03:16	5,34167	5,34147	-0,00020
Tarih	Zaman	T11	T203	T203 - T11
10.06.06	14:57:09	13,22590	13,22611	0,00021
10.06.06	14:59:19	13,24480	13,24471	-0,00009
10.06.06	15:06:15	4,32620	4,32547	-0,00073
10.06.06	15:11:24	4,43977	4,43995	0,00018

Ölçüm esnasında aşağıdaki işlemler yapıldı;

- Yüksek basınç probunu 1 ½ inch kaynakla menhol kapağına (cebri boruya giriş kapağı) sabitlendi.
- Beş adet olan Pt 2000 den biri yüksek basınç probuna geri kalan ve dört Pt 2000 termometre batardo kapağına sabitlenmiş alçak basınç probuna yerleştirildi
- Üzerine alçak basınç ölçüm sensörleri yerleştirilen batardo (çıkış suyunun) kapağı (resim 4) belirli bir seviyeye indirildi
- Generatör ve türbin kayıpları hesaplamalarda göz önüne alındı.
- Ölçümler her farklı yükte 6 ile 8 defa yapıldı.
- Ölçümlerin sonunda sensörlerin sıfırlamaları kontrol edildi.
- Ölçüm teçhizatı söküldü.

Keban Hidroelektrik Santralinde Ünite 4 ve Ünite 5 de yapılan türbin verimi ölçümünde elde edilen veriler ek 1 tablo 1-4’de detayları ile birlikte verilmiştir. Verilen değerler veri ünitesinde kaydedildi (resim 8) . Verimi hesaplamaya esas olarak iki dakikalık ölçüm diliminde 30 ölçüm sonucu değerlendirmeye alınmıştır.



Resim 8. Keban HES Ünite 4-5 Türbin verimlilik ölçümünde kullanılan kayıt sistemi

2.1.6. Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ölçülen verilerin “ETA-direct” değerlendirme programı ile ortalama değer standart sapma ve gradyan gibi değerleri hesaplanmış daha sonra verimlilik ve belirsizlik (sapma) hesaplandı.

Bu türbin verimliliği hesaplanmasının yapılmasında kullanılan varsayım ve kabuller şunlardır:

- Bu çalışmada Termodinamik metot ile iç verim hesaplandı. Yani suya ısı veren kayıplar hesaplandı.
- Türbinin yataklarındaki, salmastradaki ve hız regülatöründeki sürtünmeden kaynaklanan kayıplar göz önüne alınmadı.
- Ölçülen basınç değeri P_{11m} ölçüm pozisyonu ve basınç sensörü arasında kalan yükseklik ile düzeltildi.
- Çıkış suyu basıncı atmosfer basıncının altında olduğundan Francis türbinde $P_{21}=0$ olarak alındı.
- Basıncın düzeltilmesi için özgül hacim \bar{v} hesaplanan basınç ve sıcaklık değerlerine göre hesaplandı.

Termodinamik faktörler \bar{a} ve özgül ısı c_p *Nguyen Dinh Lan* ve *Borel Lucien* (EPF Lausanne, institute of thermodynamique) bağıntısına göre oluşturulmuş tablodan hesaplandı. Bu tablolar Ek 4’de verilmektedir.

Ölçüm sonuçları IEC 60041 Standardına uygun olarak 145 m net düşüye indirgenmiştir. 4 Nolu ünite 100 MW ile 160 MW arasında, 5 Nolu ünite 100 MW ile 175 MW çıkış güçleri arasında ölçmeler yapılmıştır .

3. BULGULAR

Keban HES'te yapılan ölçümlerden her ölçüm noktası için elde edilen (Ek 1 tablo 1-4) ve Ek 2 tablo 5'te verilen veriler kullanılarak değerlendirme yapılmış ve her nokta için türbin verimliliği bulunmuştur. Her ölçüm noktası için Ek 2 tablo 6'da verilen belirsizlik hesaplanmasında kullanılan temel veriler de kullanılarak belirsizlikler hesaplanmıştır. Her ölçüm noktası için bulunan verim ve belirsizlikler Ek 2 tablo 1-4'de verilmiştir.

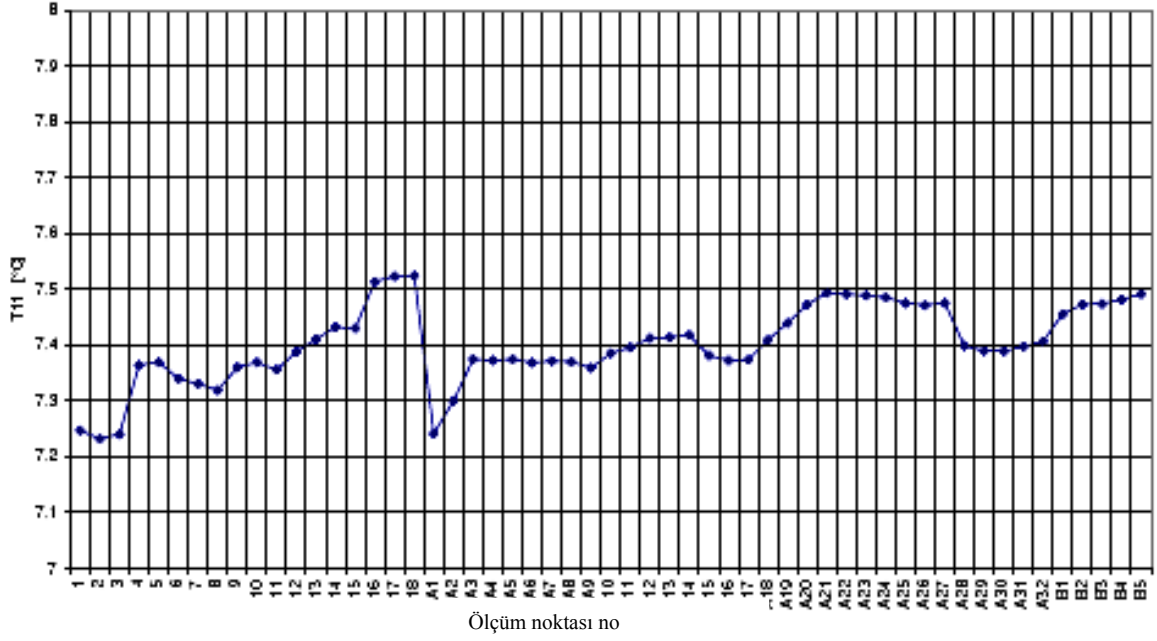
Keban HES üniteleri ilk dört ünite (ünite1-4) 1976 de son dört ünite (ünite 5-8) 1982 de hizmete girmişlerdir. Buna rağmen tamamen aynı karakteristik özelliklere sahip olarak imal edilmişlerdir. Ancak ölçülen türbin verimleri farklı bulunmuştur. Bu farkın sebebi anlaşılamamıştır. Muhtemelen emme borusu şeklinin ve çark biçimlerinin gerçekte farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Su yollarının detaylı incelenme neticesinde farkın sebebi ortaya çıkarılabilir.

Termodinamik metot ile yapılan bu ölçümde Keban HES 4 ve 5 Nolu ünitelerdeki verim testleri sonucunda daha kapsamlı bilgiler elde edilmiştir.

120 MW'tan daha büyük güçlerde belirsizlik için $\pm\%$ 1.6 değerine ulaşılmıştır kısmi yüklerde, örneğin 120 MW'ın altında, ünite daha az kararlı çalıştığından ve değer okuma hassasiyeti azalmış ve belirsizlik daha yüksek çıkmıştır.

Yapılan hesaplar ve deneysel araştırma bulgularına göre, türbinin başlıca bileşenlerinde (kanatçıklar, başlık gibi) en yüksek düzeyde işletme statik gerilmesinin, ekipmanın yorgunluk mukavemetinin değerlendirilmesinde kullanılan proje işletme modunda oluşma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Dinamik gerilmeler seviyesini, su geçişindeki enerji kayıpları belirlemektedir. Bundan, güvenilirliğe bağlı verim artış değerinin doğrulanmasına ilişkin basit bir kural ortaya çıkmaktadır. Artan verim modlarında su geçişi boyunca enerji kaybı, proje işletme modunda su geçişi boyunca oluşan enerji kayıplarından fazla olmamalıdır.

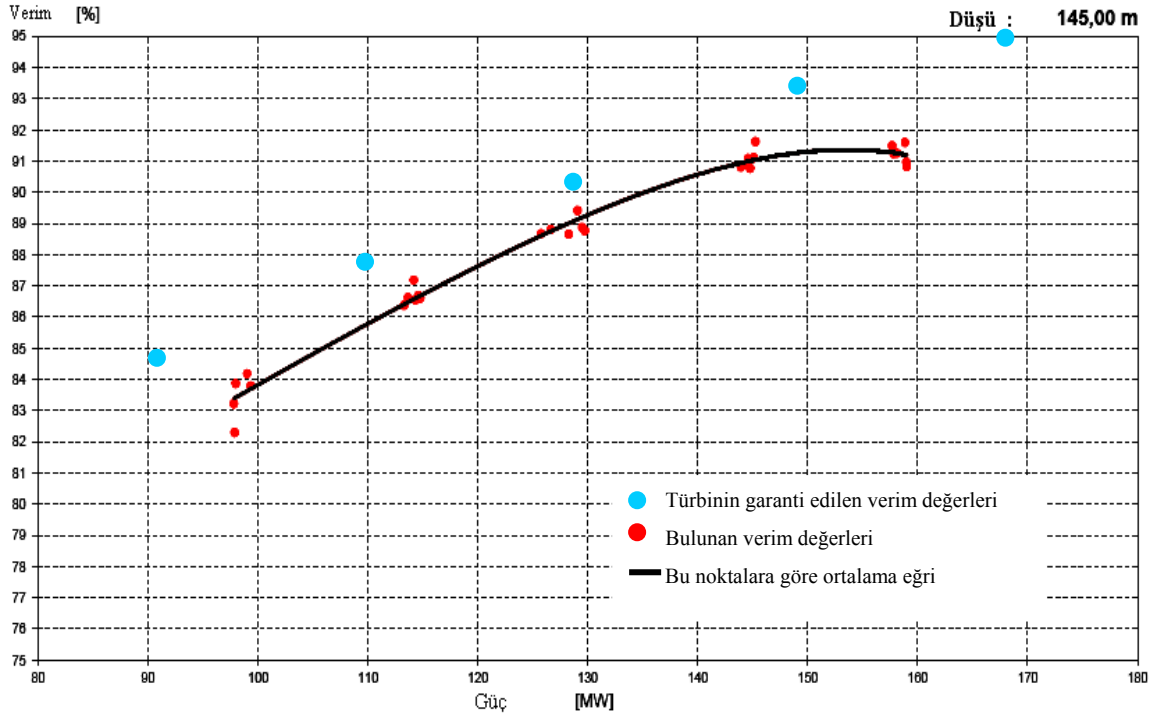
Su sıcaklığında meydana gelen büyük değişimler nedeniyle ölçmeler, IEC Standardlarına tamamen uygun olmamaktadır. IEC Standardına göre sıcaklığın bir çalışma periyodu içinde yavaş ve devamlı değişimi 0.005 K/dak değerini geçmemelidir. Keban örneğinde sıcaklık düzenli olarak artma veya eksilme yerine dalgalı bir seyir çizmiştir (Şekil 3.1).



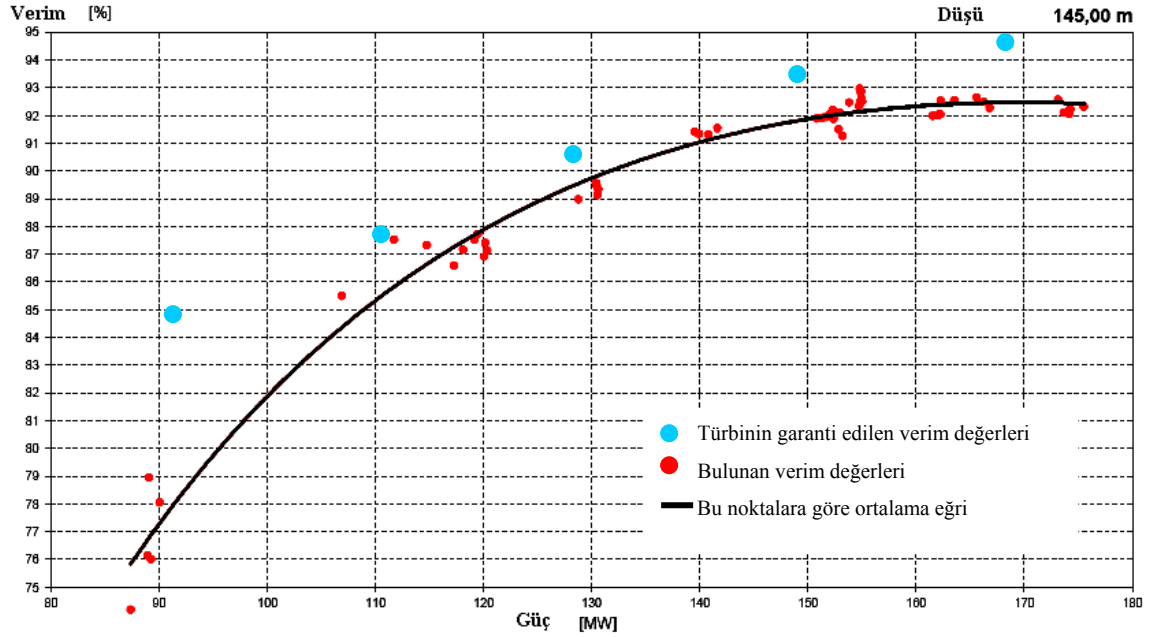
Şekil 3. 1. Keban örneğinde giriş sıcaklığı düzenli olarak artma veya eksilme yerine izlediği dalgali seyir grafiği

Ölçüm sonuçları ünite 4 için Şekil 3. 2 , ünite 5 için Şekil 3. 3 'da verilmiştir. Bu grafiklerde değerlendirme sonucu bulunan verim değerleri kırmızı noktalar ile belirtilmiştir. Bu noktalara göre ortalama eğri minimum alan sapma metodu kullanılarak çizilmiştir.

Mavi noktalar ile gösterilen verim değerleri $H = 145$ m düşü için (Moody bağıntısı kullanılarak) bulunan ve R-683 Nolu laboratuvar test raporunda belirtilen türbinin garanti edilen verim değerini göstermektedir.



Şekil 3.2. Keban HES ünite-4 ölçülen verim grafiği



Şekil 3.3. Keban HES ünite-5 ölçülen verim grafiği

Bu eğrilere göre 4 ve 5 Nolu ünitelerde 145 m düşüde ölçülen maksimum verim değerleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Ünite 4 ve 5'de 145 m düşüde ölçülen maksimum verim değerleri

Ünite	Net düşü[m]	Güç P [MW]	Verim η [%]
4	145	153	91.3
5	145	165	92.4

Model test raporuna göre, en yüksek verim, 130-135 m arasındaki düşülerde elde edilmektedir.

4. SONUÇLAR VE İRDELEME

Şubat 2005 tarihinde Keban HES ünite 4 üzerinde bu çalışmadan ayrı olarak Gibson metodu ile bir verimlilik ölçüm testi daha yapılmıştır. 133 m net düşüde, 161 MW çıkış gücünde ölçülen verim % 90 bulunmuş, ölçüm hassasiyeti $\pm\%$ 2,5 olarak bildirilmiştir [4].

Yapılan bu ölçümde belirsizlik yaklaşık $\pm\%$ 1,6; verimler ünite 4 için % 93,1, ünite 5 için % 92.4 olarak bulunmuştur.

Keban HES için 1968 yılında yapılan prototip testlerinde pik garanti edilen verim değeri % 95 bulunmuştur [1]. Gibson metodu ile yapılan ölçüm ile model test ölçümleri arasında büyük fark olduğu görülmektedir. Yapılan bu çalışmada bu fark % 1 kadar prototip test sonuçlarına yakın olmakla beraber garanti edilen verim değerinden % 3 ile % 4 daha düşüktür.

Bulunan sonuçlara göre yaklaşık 30 yıldır çalışan türbinlerde garanti edilen verim değerinden anormal bir sapma olmamıştır. Ancak alçak ve düşük yüklerde garanti edilen verim değerlerinden sapmalar artmaktadır.

Tasarımları aynı olmasına rağmen ünite 4 ile ünite 5 verim eğrileri arasındaki farkların nedeni bu çalışma ile tam olarak izah edilememiştir. Ancak ünitelerin hidrolik olarak aynı olup olmadıklarının araştırılması söz konusu olabilir ve bu fark altı sene sonra imal edilen ünite 5 de kullanılan teknolojinin ünite 4'e göre daha yeni ve daha gelişmiş olmasından kaynaklanıyor olabilir.

5. ÖNERİLER

Hidrolik türbinlerinin analiz ve tasarımına yönelik modern yöntemler, yüksek verim değerlerine ulaşılmasına olanak sağlamaktadır. Bilindiği gibi en yüksek verim, 80 ile 200m arasındaki düşülerde çalıştırılmak üzere tasarlanan Francis türbinlerde elde edilebilmektedir.

Bu düşü değerlerinde türbinden su geçiş düzeni, akımın en az türbülans akım kaybıyla geçmesini sağladığı gibi, kanatçıklardaki en fazla sürtünme kaybıyla çarktan ve çark bandından akım geçişine de olanak sağlar.

80-200 m aralığında düşülerde 500 mm çapında türbin modeli yaklaşık % 93-94 verime sahip iken prototipe (ölçek etkisi dikkate alındığında) verim % 95-96 mertebesine ulaşabilir.

Çark kanat sisteminde ve türbin su geçişinin ve yeni çark, yeni hız regülatörü, aşınan parçaların değiştirilmesi, su ile temas eden yüzeylerin tamiri gibi elemanlarında iyileştirme işleri sayesinde verim % 1.5-2.0'dan daha fazla oranından artırılabilir.

Hidrolik türbinlerde meydana gelecek olan enerji kayıplarını hesaplama olanağı tam olarak bulunmadığı için, kayıpların küçük olmasını sağlamak için projelendirme, model deneyleri, imalat ve işletme esnasında çok özen gösterilmelidir. Bu kayıpları termodinamik metotla en yüksek doğrulukla ölçmek mümkün olabilir.

Türbinlere uygulanan sayısız dayanım ve titreşim deneyleri, ayrıca işletme deneyimi, güvenilirlik bakımından ekipman işletme koşullarının, su geçişi esnasında enerji kaybı kriteri kullanılarak değerlendirilebileceğini göstermiştir. İşletme modunda enerji kaybı ne kadar yüksek olursa belirli bir makine tasarımdaki çark kanatlarında dinamik gerilme düzeyi ve arıza sıklığı o kadar fazla olmakta, su geçişinde daha somut basınç sarsıntısı oluşmakta, destek elemanlarının düşey titreşimi artmakta ve kullanılabilirlik faktörü azalmaktadır.

Keban HES örneğinde karşılaşılan en büyük problemlerden biri alçak basınç tarafındaki termometrelerin yüksek titreşimden dolayı tahrip olmalarıdır. Daha sonraki çalışmalarda bu sorun çözümü için yeni metotlar geliştirilebilir.

Ölçümler esnasında giriş tarafında IEC 41 standardına göre iki ölçüm arasındaki sürekli durum sıcaklık değişimi $0,005^{\circ}\text{K}/\text{dak}$ olması gerekmektedir. Özellikle rezervuarlı

hidroelektrik santrallerde çevresel etkiler bu durumu çok etkilemektedir. Bu yüzden ölçüm ekipmanlarının izolasyonuna ve ölçümün yapıldığı tarihlerde günlük sıcaklık farklarının minimum olmasına dikkat edilmelidir. İlkbahar veya sonbahar gibi mevsimleri seçmek daha makul olabilir.

6. KAYNAKLAR

- 1- EÜAŞ Hidroelektrik Santrallerinin Verimliliğinin Araştırılmasına Yönelik AR-GE Komisyonu Raporu, Ankara, 2004.
- 2- Başeşme, H., Hidroelektrik Santraller ve Hidroelektrik Santral Tesisleri, EÜAŞ Ankara, 2003.
- 3- Delort, M. ve Waldura, L., General Description of Turbine Efficiency Improvement Project Preliminary Report, Paris, 2004.
- 4- Toribio, J. L., Report Keban HEPP Efficiency Measurement of Ünit 4, Paris, 2005.
- 5- Adamkowski, A., Janicki, W., Kubiak, J., Gustavo, U., Sierra, F. and Fernández, J. M., Water Turbine Efficiency Measurements Using The Gibson Method Based On Special Instrumentation Installed Inside Pipelines, 6th International Conference on Innovation in Hydraulic Efficiency Measurements (İGHEM), July-August 2006, Portland, Oregon, USA. www.ighem.org/Paper2006/d15.pdf 05.05.2007.
- 6- IEC 600 41, Field Acceptance Tests To Determine The Hydraulic Performance of Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump-Turbines, Geneva, Switzerland, 1991.
- 7- ASME PTC 18-2002, Hydraulic Turbines and Pump-Turbines Performance Test Codes, The American Society of Mechanical Engineers, U.S.A., 2003.
- 8- Rittmeyer A.G., System Specification Efficiency measurement HEPP, Zug-Switzerland, 2007.
- 9- Faast, R., Kundt, M., and Mayr, W., Thermodynamic Efficiency Measurement-Method of Partial Expansion and Direct Method, 6th International Conference on Innovation in Hydraulic Efficiency Measurements (İGHEM), July-August 2006, Portland, Oregon, USA. www.ighem.org/Paper2006/d12.pdf 05.05.2007.
- 10- Dahlhaug, O. G., Torbjorn, K. N., Brandastro, B., Francke, H. H., Wiborg, E. J. and Hulaas, H., Comparison Between Pressure-Time And Thermodynamic Efficiency Measurements On A Low Head Turbine, 6th International Conference on Innovation in Hydraulic Efficiency Measurements (İGHEM), July-August 2006, Portland, Oregon, USA. www.ighem.org/Paper2006/d5.pdf 05.05.2007.
- 11- Bokko, E., Nilsen, E. and Vinnogg, L., Thermodynamic Efficiency Measurements The Uncertainty Of Efficiency Versus The Hydraulic Head, İGHEM, July 2000, Sandvika, Norway.
- 12- Hulaas, H., Bryhni, T. and Dahlhaug, O. G., Multipoint Thermodynamic Measurements A Statistical Approach to Uncertainty Levels, Paper submitted to the İGHEM Seminar, July 2000, Kempton, Germany. www.ighem.org/İGHEM2000_08.pdf 05.05.2007.

EK 1. Keban HES Termodinamik Metotla Verim Ölçümünde Ölçülen Değerler Tablosu

EK 1 Tablo 1. Keban HES ünite 5 ölçülen değerler

	Ö. Nokta No	1	2	3	4	5
Tarih zaman	-	09.06.2006 02:33:02	09.06.2006 02:35:30	09.06.2006 02:40:26	09.06.2006 02:46:06	09.06.2006 02:48:48
Ölçülen değerler						
T_{11}	°C	7,2467	7,2320	7,2404	7,3643	7,3693
T_{201_m}	°C	7,2485	7,2340	7,2413	7,3647	7,3712
T_{202_m}	°C	7,2485	7,2346	7,2410	7,3640	7,3705
T_{203_m}	°C	7,2496	7,2365	7,2436	7,3651	7,3714
T_{hava}	°C	21,024	21,050	21,008	21,006	21,010
P_{1_m}	bar	13,957	13,963	13,927	13,933	13,934
P_{11_m}	bar	13,391	13,394	13,370	13,372	13,377
P_{Z20}	mWS	0,918	0,859	0,768	0,751	0,723
P_G	MW					
Standart sap.						
$s_{T_{11}}$	°C	± 0,0028	± 0,0018	± 0,0028	± 0,0069	± 0,0059
$s_{T_{201}}$	°C	± 0,0035	± 0,0023	± 0,0035	± 0,0075	± 0,0056
$s_{T_{202}}$	°C	± 0,0046	± 0,0037	± 0,0038	± 0,0073	± 0,0071
$s_{T_{203}}$	°C	± 0,0054	± 0,0042	± 0,0046	± 0,0074	± 0,0067
$s_{T_{hava}}$	°C	± 0,0031	± 0,0026	± 0,0046	± 0,0034	± 0,0174
s_{P_1}	bar	± 0,0248	± 0,0276	± 0,0197	± 0,0169	± 0,0187
$s_{P_{11}}$	bar	± 0,0305	± 0,0258	± 0,0231	± 0,0233	± 0,0233
$s_{P_{Z20}}$	mWS	± 0,0865	± 0,0692	± 0,0715	± 0,0665	± 0,0619
Eğim						
T_{11}	[K/min]	-0,0040	-0,0020	0,0037	-0,0022	-0,0016

EK 1 Tablo 1. Keban HES Ünite 5 ölçülen değerler (devamı)

Ö. Nokta No		6	7	8	9	10
Tarih	-	09.06.2006	09.06.2006	09.06.2006	09.06.2006	09.06.2006
Zaman	-	02:53:43	02:58:44	03:04:06	03:09:38	03:14:13
Ölçülen Değerler						
T ₁₁	°C	7,3397	7,3306	7,3190	7,3598	7,3689
T _{201_m}	°C	7,3419	7,3310	7,3196	7,3607	7,3712
T _{202_m}	°C	7,3409	7,3301	7,3180	7,3599	7,3689
T _{203_m}	°C	7,3420	7,3320	7,3199	7,3627	7,3746
T _{hava}	°C	21,011	20,928	20,962	21,008	20,983
P _{1_m}	bar	13,924	13,928	13,932	13,988	14,003
P _{11_m}	bar	13,388	13,370	13,373	13,414	13,415
P _{Z20}	mWS	0,700	0,686	0,670	0,615	0,586
P _G	MW					154,794
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0061	± 0,0057	± 0,0048	± 0,0017	± 0,0022
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0066	± 0,0063	± 0,0063	± 0,0025	± 0,0030
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0080	± 0,0069	± 0,0066	± 0,0041	± 0,0040
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0077	± 0,0067	± 0,0062	± 0,0042	± 0,0050
s_T _{hava}	°C	± 0,0049	± 0,0108	± 0,0144	± 0,0137	± 0,0144
s_P ₁	bar	± 0,0169	± 0,0200	± 0,0196	± 0,0418	± 0,0309
s_P ₁₁	bar	± 0,0213	± 0,0211	± 0,0249	± 0,0352	± 0,0361
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0534	± 0,0796	± 0,0647	± 0,0822	± 0,0619
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	-0,0034	-0,0004	0,0003	-0,0008	0,0019

EK 1 Tablo 1. Keban HES Ünite 5 ölçülen değerler (devamı)

Ölçüm Nok. No		11	12	13	14	15
Tarih	-	09.06.2006	09.06.2006	09.06.2006	09.06.2006	09.06.2006
Zaman	-	03:23:33	03:26:08	03:28:55	03:33:47	03:36:09
Ölçülen Değerler						
T ₁₁	°C	7,3557	7,3878	7,4104	7,4321	7,4300
T _{201_m}	°C	7,3756	7,4041	7,4288	7,4512	7,4486
T _{202_m}	°C	7,3747	7,4033	7,4272	7,4512	7,4459
T _{203_m}	°C	7,3786	7,4098	7,4340	7,4553	7,4530
T _{hava}	°C	21,000	20,979	21,030	20,957	20,966
P _{1_m}	bar	14,124	14,144	14,131	14,137	14,127
P _{11_m}	bar	13,511	13,517	13,496	13,493	13,512
P _{Z20}	mWS	0,657	0,633	0,623	0,616	0,618
P _G	MW	120,377	122,055	122,867	122,666	122,610
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0026	± 0,0034	± 0,0018	± 0,0026	± 0,0025
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0026	± 0,0048	± 0,0019	± 0,0026	± 0,0019
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0061	± 0,0086	± 0,0055	± 0,0061	± 0,0055
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0078	± 0,0081	± 0,0063	± 0,0057	± 0,0070
s_T _{hava}	°C	± 0,0079	± 0,0095	± 0,0105	± 0,0043	± 0,0085
s_P ₁	bar	± 0,0520	± 0,0674	± 0,0605	± 0,0594	± 0,0786
s_P ₁₁	bar	± 0,0587	± 0,0589	± 0,0730	± 0,0583	± 0,0725
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0599	± 0,0511	± 0,0460	± 0,0555	± 0,0540
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	0,0028	0,0039	-0,0024	-0,0034	0,0030

EK 1 Tablo 1. Keban HES Ünite 5 ölçülen değerler (devamı)

Ö. Nokta No		16	17	18	
Tarih zaman	-	09.06.2006 03:46:26	09.06.2006 03:48:55	09.06.2006 03:51:26	
Ölçülen Değerler					
T ₁₁	°C	7,5135	7,5232	7,5242	
T _{201_m}	°C	7,5150	7,5243	7,5242	
T _{202_m}	°C	7,5155	7,5237	7,5238	
T _{203_m}	°C	7,5152	7,5249	7,5254	
T _{hava}	°C	20,956	20,944	20,925	
P _{1_m}	bar	13,930	13,928	13,925	
P _{11_m}	bar	13,382	13,389	13,376	
P _{Z20}	mWS	0,601	0,622	0,631	
P _G	MW	168,896	168,249	167,438	
Standart sap.					
s_T ₁₁	°C	± 0,0024	± 0,0034	± 0,0020	
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0029	± 0,0029	± 0,0029	
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0047	± 0,0053	± 0,0043	
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0055	± 0,0046	± 0,0038	
s_T _{hava}	°C	± 0,0083	± 0,0152	± 0,0097	
s_P ₁	bar	± 0,0255	± 0,0232	± 0,0223	
s_P ₁₁	bar	± 0,0306	± 0,0282	± 0,0220	
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0696	± 0,0699	± 0,0771	
Eğim					
T ₁₁	[K/min]	-0,0005	0,0048	-0,0020	

EK 1 Tablo 2. Keban HES Ünite 5 (A) ölçülen değerler

Ö. Nokta No		1	2	3	4	5
Tarih Zaman	-	10.06.2006	10.06.2006 01:42:57	10.06.2006	10.06.2006 01:54:58	10.06.2006 01:57:17
Ölçülen değerler						
T ₁₁	°C	7,2414	7,3001	7,3746	7,3729	7,3746
T _{201_m}	°C	7,2460	7,3029	7,3776	7,3764	7,3782
T _{202_m}	°C	7,2499	7,3026	7,3754	7,3765	7,3767
T _{203_m}	°C	7,2445	7,3039	7,3783	7,3765	7,3780
T _{hava}	°C	21,510	21,250	21,239	21,241	21,129
P _{1_m}	bar	14,009	14,004	13,995	14,002	14,003
P _{11_m}	bar	13,418	13,422	13,421	13,417	13,408
P _{Z20}	mWS	0,513	0,474	0,457	0,447	0,436
P _G	MW	155,547	154,656	154,774	153,361	154,386
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0032	± 0,0026	± 0,0048	± 0,0015	± 0,0027
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0035	± 0,0029	± 0,0047	± 0,0019	± 0,0028
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0042	± 0,0030	± 0,0045	± 0,0026	± 0,0026
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0052	± 0,0043	± 0,0054	± 0,0050	± 0,0040
s_T _{hava}	°C	± 0,0256	± 0,0094	± 0,0121	± 0,0052	± 0,0343
s_P ₁	bar	± 0,0437	± 0,0341	± 0,0338	± 0,0372	± 0,0381
s_P ₁₁	bar	± 0,0403	± 0,0301	± 0,0323	± 0,0265	± 0,0348
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0518	± 0,0656	± 0,0539	± 0,0648	± 0,0685
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	-0,0030	0,0014	0,0049	0,0004	0,0002

EK 1 Tablo 2. Keban HES Ünite 5 (A) ölçülen değerler (devam)

Ö. Nokta No		6	7	8	9	10
Tarih	-	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006
Zaman	-	01:59:41	02:02:05	02:08:15	02:15:07	02:19:46
Ölçülen değerler						
T ₁₁	°C	7,3684	7,3714	7,3699	7,3592	7,3851
T _{201_m}	°C	7,3711	7,3747	7,3915	7,3815	7,4089
T _{202_m}	°C	7,3705	7,3729	7,3893	7,3804	7,4077
T _{203_m}	°C	7,3716	7,3752	7,3882	7,3821	7,4147
T _{hava}	°C	21,131	21,133	21,120	21,163	21,106
P _{1_m}	bar	14,000	14,012	14,139	14,147	14,168
P _{11_m}	bar	13,419	13,409	13,503	13,493	13,505
P _{Z20}	mWS	0,450	0,428	0,529	0,486	0,472
P _G	MW	155,542	154,154	121,821		109,306
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0030	± 0,0033	± 0,0036	± 0,0013	± 0,0032
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0043	± 0,0036	± 0,0058	± 0,0052	± 0,0032
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0041	± 0,0031	± 0,0016	± 0,0028	± 0,0042
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0042	± 0,0053	± 0,0056	± 0,0055	± 0,0072
s_T _{hava}	°C	± 0,0178	± 0,0074	± 0,0087	± 0,0161	± 0,0155
s_P ₁	bar	± 0,0346	± 0,0365	± 0,0687	± 0,0699	± 0,1708
s_P ₁₁	bar	± 0,0358	± 0,0453	± 0,0831	± 0,0939	± 0,1491
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0601	± 0,0494	± 0,0564	± 0,0583	± 0,0497
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	-0,0038	-0,0031	-0,0046	0,0006	0,0043

EK 1 Tablo 2. Keban HES Ünite 5 (A) ölçülen değerler (devam)

Ö. Nokta No		11	12	13	14	15
Tarih	-	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006
Zaman	-	02:22:03	02:24:31	02:31:55	02:34:17	02:40:56
Ölçülen Değerler						
T ₁₁	°C	7,3957	7,4125	7,4135	7,4179	7,3814
T _{201_m}	°C	7,4180	7,4306	7,4686	7,4780	7,4537
T _{202_m}	°C	7,4171	7,4280	7,4743	7,4876	7,4652
T _{203_m}	°C	7,4131	7,4351	7,4538	7,4581	7,4233
T _{hava}	°C	21,065	21,040	21,144	21,128	20,967
P _{1_m}	bar	14,139	14,123	14,247	14,242	14,236
P _{11_m}	bar	13,472	13,485	13,547	13,557	13,564
P _{Z20}	mWS	0,454	0,461	0,495	0,435	0,431
P _G	MW	117,256	113,837	91,409	92,453	91,627
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0038	± 0,0023	± 0,0016	± 0,0048	± 0,0012
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0039	± 0,0042	± 0,0076	± 0,0032	± 0,0079
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0043	± 0,0034	± 0,0096	± 0,0079	± 0,0113
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0405	± 0,0067	± 0,0054	± 0,0071	± 0,0040
s_T _{hava}	°C	± 0,0028	± 0,0121	± 0,0065	± 0,0068	± 0,0246
s_P ₁	bar	± 0,1326	± 0,1008	± 0,0827	± 0,0817	± 0,0765
s_P ₁₁	bar	± 0,1234	± 0,1246	± 0,0740	± 0,0672	± 0,0777
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0468	± 0,0569	± 0,0692	± 0,0741	± 0,0711
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	0,0041	0,0034	0,0010	-0,0010	-0,0009

EK 1 Tablo 2. Keban HES Ünite 5 (A) ölçülen değerler (devam)

Ö. Nokta No		16	17	18	19	20
Tarih	-	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006
Zaman	-	02:43:34	02:45:58	02:52:31	02:54:48	02:57:17
Ölçülen Değerler						
T ₁₁	°C	7,3723	7,3733	7,4088	7,4393	7,4724
T _{201_m}	°C	7,4546	7,4476	7,4105	7,4405	7,4730
T _{202_m}	°C	7,4651	7,4548	7,4081	7,4380	7,4711
T _{203_m}	°C	7,4172	7,4146	7,4123	7,4422	7,4735
T _{hava}	°C	21,050	21,072	20,941	20,968	20,990
P _{1_m}	bar	14,235	14,247	13,890	13,889	13,890
P _{11_m}	bar	13,562	13,574	13,343	13,344	13,346
P _{Z20}	mWS	0,427	0,414	0,413	0,446	0,455
P _G	MW	89,654	91,404	176,361	176,361	175,176
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0019	± 0,0009	± 0,0069	± 0,0090	± 0,0070
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0124	± 0,0093	± 0,0070	± 0,0083	± 0,0067
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0070	± 0,0078	± 0,0073	± 0,0082	± 0,0071
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0068	± 0,0065	± 0,0071	± 0,0103	± 0,0097
s_T _{hava}	°C	± 0,0179	± 0,0062	± 0,0099	± 0,0161	± 0,0043
s_P ₁	bar	± 0,0742	± 0,0826	± 0,0106	± 0,0080	± 0,0096
s_P ₁₁	bar	± 0,0710	± 0,0809	± 0,0189	± 0,0166	± 0,0207
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0758	± 0,0687	± 0,0252	± 0,0278	± 0,0266
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	0,0004	0,0005	0,0117	0,0155	0,0120

EK 1 Tablo 2. Keban HES Ünite 5 (A) ölçülen değerler (devam)

Ö. Nokta No		21	22	23	24	25
Tarih	-	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006
Zama	-	02:59:25	03:01:53	03:07:06	03:09:24	03:13:57
Ölçülen değerler						
T ₁₁	°C	7,4935	7,4908	7,4889	7,4854	7,4748
T _{201_m}	°C	7,4950	7,4928	7,4914	7,4874	7,4772
T _{202_m}	°C	7,4921	7,4903	7,4911	7,4870	7,4769
T _{203_m}	°C	7,4955	7,4938	7,4921	7,4861	7,4775
T _{hava}	°C	20,971	20,906	20,882	20,859	20,839
P _{1_m}	bar	13,891	13,889	13,952	13,952	13,955
P _{11_m}	bar	13,345	13,346	13,394	13,399	13,389
P _{Z20}	mWS	0,472	0,496	0,511	0,513	0,523
P _G	MW	177,703	175,676	164,319	164,578	164,600
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0032	± 0,0045	± 0,0024	± 0,0023	± 0,0039
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0036	± 0,0042	± 0,0023	± 0,0027	± 0,0038
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0049	± 0,0051	± 0,0022	± 0,0026	± 0,0039
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0062	± 0,0058	± 0,0043	± 0,0041	± 0,0054
s_T _{hava}	°C	± 0,0072	± 0,0164	± 0,0056	± 0,0082	± 0,0043
s_P ₁	bar	± 0,0076	± 0,0095	± 0,0270	± 0,0258	± 0,0298
s_P ₁₁	bar	± 0,0171	± 0,0186	± 0,0307	± 0,0156	± 0,0300
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0248	± 0,0278	± 0,0663	± 0,0633	± 0,0609
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	0,0041	-0,0061	-0,0031	0,0007	-0,0033

EK 1 Tablo 2. Keban HES Ünite 5 (A) ölçülen değerler (devam)

Ö. Nokta No		26	27	28	29	30
Tarih		10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006
Zaman		03:16:16	03:18:34	03:34:58	03:41:28	03:43:58
Ölçülen değerler						
T ₁₁	°C	7,4715	7,4754	7,3988	7,3895	7,3892
T _{201_m}	°C	7,4730	7,4777	7,4125	7,4029	7,4020
T _{202_m}	°C	7,4722	7,4770	7,4139	7,4040	7,4023
T _{203_m}	°C	7,4718	7,4789	7,4107	7,4039	7,4036
T _{hava}	°C	20,846	20,835	20,728	20,738	20,687
P _{1_m}	bar	13,955	13,953	14,087	14,093	14,089
P _{11_m}	bar	13,386	13,388	13,480	13,470	13,475
P _{Z20}	mWS	0,527	0,520	0,475	0,490	0,466
P _G	MW	165,943	163,841	133,256	131,400	133,241
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0029	± 0,0035	± 0,0022	± 0,0020	± 0,0018
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0026	± 0,0035	± 0,0022	± 0,0035	± 0,0022
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0026	± 0,0031	± 0,0029	± 0,0034	± 0,0026
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0049	± 0,0061	± 0,0073	± 0,0066	± 0,0049
s_T _{hava}	°C	± 0,0090	± 0,0134	± 0,0072	± 0,0134	± 0,0178
s_P ₁	bar	± 0,0243	± 0,0218	± 0,0476	± 0,0467	± 0,0422
s_P ₁₁	bar	± 0,0279	± 0,0239	± 0,0416	± 0,0434	± 0,0383
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0803	± 0,0690	± 0,0522	± 0,0719	± 0,0647
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	0,0031	0,0049	-0,0013	-0,0015	0,0008

EK 1 Tablo 2. Keban HES Ünite 5 (A) ölçülen değerler (devam)

Ö. Nokta No		31	32
Tarih	-	10.06.2006	10.06.2006
Zaman	-	03:46:22	03:48:37
Ölçülen Değerler			
T ₁₁	°C	7,3974	7,4065
T _{201_m}	°C	7,4098	7,4186
T _{202_m}	°C	7,4113	7,4180
T _{203_m}	°C	7,4087	7,4188
T _{hava}	°C	20,601	20,484
P _{1_m}	bar	14,094	14,090
P _{11_m}	bar	13,469	13,470
P _{Z20}	mWS	0,483	0,458
P _G	MW	133,185	133,119
Standart sap.			
s_T ₁₁	°C	± 0,0024	± 0,0023
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0022	± 0,0020
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0036	± 0,0025
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0077	± 0,0075
s_T _{hava}	°C	± 0,0316	± 0,0243
s_P ₁	bar	± 0,0440	± 0,0357
s_P ₁₁	bar	± 0,0369	± 0,0435
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0598	± 0,0480
Eğim			
T ₁₁	[K/min]	0,0023	0,0028

EK 1 Tablo 3. Keban HES Ünite 5 (B) ölçülen değerler

Ö. Nokta No		1	2	3	4	5
Tarih	-	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006
Zaman	-	04:07:04	04:10:40	04:13:02	04:15:58	04:18:57
Ölçülen Değerler						
T ₁₁	°C	7,4656	7,4729	7,4739	7,4815	7,4918
T _{201_m}	°C	7,4720	7,4787	7,4799	7,4877	7,4981
T _{202_m}	°C	7,4693	7,4771	7,4790	7,4865	7,4962
T _{hava}	°C	20,378	20,443	20,415	20,318	20,239
P _{1_m}	bar	14,054	14,050	14,050	14,051	14,055
P _{11_m}	bar	13,447	13,450	13,446	13,440	13,439
P _{Z20}	mWS	0,432	0,438	0,424	0,452	0,434
P _G	MW	156,830	144,353	142,164	143,504	142,666
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0041	± 0,0024	± 0,0023	± 0,0023	± 0,0031
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0034	± 0,0026	± 0,0017	± 0,0018	± 0,0041
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0027	± 0,0024	± 0,0031	± 0,0019	± 0,0036
s_T _{hava}	°C	± 0,0056	± 0,0084	± 0,0195	± 0,0171	± 0,0129
s_P ₁	bar	± 0,0383	± 0,0366	± 0,0346	± 0,0553	± 0,0349
s_P ₁₁	bar	± 0,0391	± 0,0464	± 0,0384	± 0,0380	± 0,0380
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0545	± 0,0582	± 0,0477	± 0,0519	± 0,0523
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	0,0046	-0,0019	0,0006	0,0000	0,0035

EK 1 Tablo 4. Keban HES Ünite 4 ölçülen değerler

Ö. Nokta No		1	2	3	4	5
Tarih	-	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006
Zaman	-	01:35:38	01:40:44	01:47:50	01:54:52	6
Ölçülen değerler						
T ₁₁	°C	7,3789	7,4025	7,4322	7,3738	7,4624
T _{201_m}	°C	7,3846	7,4192	7,4393	7,3839	7,4674
T _{202_m}	°C	7,3823	7,4088	7,4371	7,3802	7,4668
T _{203_m}	°C	7,3838	7,4087	7,4372	7,3798	7,4703
T _{hava}	°C	20,353	20,302	20,273	20,357	20,267
P _{1_m}	bar	13,909	13,940	13,936	13,939	13,940
P _{11_m}	bar	13,356	13,384	13,371	13,377	13,369
P _{Z20}	mWS	0,521	0,454	0,445	0,440	0,423
P _G	MW	165,133	160,534	160,133	161,153	161,161
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0061	± 0,0024	± 0,0035	± 0,0026	± 0,0035
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0063	± 0,0087	± 0,0067	± 0,0042	± 0,0056
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0059	± 0,0029	± 0,0044	± 0,0031	± 0,0042
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0096	± 0,0061	± 0,0046	± 0,0074	± 0,0081
s_T _{hava}	°C	± 0,0042	± 0,0109	± 0,0067	± 0,0105	± 0,0128
s_P ₁	bar	± 0,0162	± 0,0120	± 0,0128	± 0,0161	± 0,0127
s_P ₁₁	bar	± 0,0180	± 0,0174	± 0,0133	± 0,0178	± 0,0148
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0647	± 0,0364	± 0,0381	± 0,0415	± 0,0424
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	-0,0014	0,0009	0,0050	-0,0021	0,0046

EK 1 Tablo 4. Keban HES Ünite 4 ölçülen değerler(devam)

Ö. Nokta No		6	7	8	9	10
Tarih	-	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006
Zaman	-	02:09:52	02:12:26	02:14:49	02:22:12	02:24:34
Ölçülen Değerler						
T ₁₁	°C	7,4525	7,4574	7,4583	7,4845	7,4907
T _{201_m}	°C	7,4587	7,4621	7,4634	7,4916	7,4977
T _{202_m}	°C	7,4564	7,4611	7,4625	7,4912	7,4966
T _{203_m}	°C	7,4558	7,4630	7,4647	7,4924	7,4972
T _{hava}	°C	20,262	20,278	20,224	20,193	20,217
P _{1_m}	bar	13,935	13,933	13,935	13,995	14,005
P _{11_m}	bar	13,367	13,376	13,371	13,403	13,421
P _{Z20}	mWS	0,448	0,440	0,451	0,452	0,461
P _G	MW	160,839	159,592	159,761	146,898	147,371
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0042	± 0,0033	± 0,0037	± 0,0033	± 0,0023
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0041	± 0,0033	± 0,0030	± 0,0034	± 0,0030
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0049	± 0,0037	± 0,0028	± 0,0031	± 0,0032
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0083	± 0,0052	± 0,0077	± 0,0115	± 0,0071
s_T _{hava}	°C	± 0,0205	± 0,0065	± 0,0143	± 0,0064	± 0,0051
s_P ₁	bar	± 0,0100	± 0,0130	± 0,0106	± 0,0315	± 0,0346
s_P ₁₁	bar	± 0,0176	± 0,0195	± 0,0195	± 0,0287	± 0,0395
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0427	± 0,0468	± 0,0515	± 0,0511	± 0,0646
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	-0,0003	0,0049	0,0041	0,0047	-0,0033

EK 1 Tablo 4. Keban HES Ünite 4 ölçülen değerler (devam)

Ö. Nokta No		11	12	13	14	15
Tarih	-	11.06.200	11.06.200	11.06.200	11.06.200	11.06.200
Zama	-	6	6	6	6	6
Ölçülen değerler						
T ₁₁	°C	7,5165	7,5524	7,5588	7,5914	7,6078
T _{201_m}	°C	7,5233	7,5582	7,5654	7,5975	7,6208
T _{202_m}	°C	7,5257	7,5561	7,5679	7,5957	7,6174
T _{203_m}	°C	7,5232	7,5608	7,5652	7,5956	7,6211
T _{hava}	°C	20,192	20,135	20,143	20,233	20,220
P _{1_m}	bar	14,003	14,003	14,004	13,998	14,074
P _{11_m}	bar	13,412	13,422	13,416	13,419	13,453
P _{Z20}	mWS	0,452	0,431	0,423	0,414	0,497
P _G	MW	146,137	146,858	146,660	147,474	131,443
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0023	± 0,0031	± 0,0026	± 0,0035	± 0,0017
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0029	± 0,0037	± 0,0024	± 0,0038	± 0,0027
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0031	± 0,0039	± 0,0023	± 0,0031	± 0,0024
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0079	± 0,0092	± 0,0073	± 0,0094	± 0,0054
s_T _{hava}	°C	± 0,0130	± 0,0088	± 0,0085	± 0,0114	± 0,0084
s_P ₁	bar	± 0,0330	± 0,0357	± 0,0265	± 0,0300	± 0,0541
s_P ₁₁	bar	± 0,0291	± 0,0309	± 0,0313	± 0,0269	± 0,0482
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0445	± 0,0540	± 0,0596	± 0,0596	± 0,0581
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	0,0004	0,0050	-0,0032	0,0011	-0,0009

EK 1 Tablo 4. Keban HES Ünite 4 ölçülen değerler (devam)

Ö. Nokta No		16	17	18	19	20
Tarih Zaman	-	11.06.2006 02:46:59	11.06.2006 02:51:52	11.06.2006 02:56:13	11.06.2006 02:58:26	11.06.2006 03:00:43
Ölçülen Değerler						
T ₁₁	°C	7,6102	7,5949	7,6120	7,6228	7,6327
T _{201_m}	°C	7,6246	7,6111	7,6266	7,6375	7,6467
T _{202_m}	°C	7,6233	7,6096	7,6245	7,6351	7,6443
T _{203_m}	°C	7,6251	7,6106	7,6266	7,6385	7,6501
T _{hava}	°C	20,184	20,300	20,331	20,333	20,284
P _{1_m}	bar	14,083	14,072	14,085	14,092	14,077
P _{11_m}	bar	13,457	13,474	13,459	13,473	13,462
P _{Z20}	mWS	0,497	0,460	0,444	0,446	0,434
P _G	MW	132,282	127,967	132,115	129,201	130,766
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0025	± 0,0031	± 0,0026	± 0,0033	± 0,0023
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0023	± 0,0021	± 0,0033	± 0,0043	± 0,0034
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0018	± 0,0021	± 0,0028	± 0,0034	± 0,0033
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0088	± 0,0081	± 0,0069	± 0,0085	± 0,0096
s_T _{hava}	°C	± 0,0102	± 0,0160	± 0,0058	± 0,0067	± 0,0161
s_P ₁	bar	± 0,0610	± 0,0654	± 0,0580	± 0,0575	± 0,0586
s_P ₁₁	bar	± 0,0639	± 0,0650	± 0,0634	± 0,0596	± 0,0483
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0596	± 0,0532	± 0,0559	± 0,0621	± 0,0594
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	-0,0012	0,0021	0,0027	0,0052	0,0036

EK 1 Tablo 4. Keban HES Ünite 4 ölçülen değerler(devam)

Ö. Nokta No		21	22	23	24	25
Tarih	-	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006
Zaman	-	03:07:16	03:11:44	03:13:58	03:16:14	03:20:38
Ölçülen değerler						
T ₁₁	°C	7,6215	7,6154	7,6148	7,6188	7,6419
T _{201_m}	°C	7,6444	7,6386	7,6392	7,6417	7,6638
T _{202_m}	°C	7,6430	7,6370	7,6374	7,6400	7,6616
T _{203_m}	°C	7,6443	7,6381	7,6375	7,6417	7,6664
T _{hava}	°C	20,141	20,055	20,020	20,018	20,007
P _{1_m}	bar	14,164	14,119	14,146	14,136	14,130
P _{11_m}	bar	13,525	13,488	13,495	13,509	13,495
P _{Z20}	mWS	0,462	0,455	0,454	0,425	0,442
P _G	MW	116,410	117,033	115,848	117,086	116,748
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0026	± 0,0029	± 0,0026	± 0,0030	± 0,0015
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0024	± 0,0021	± 0,0026	± 0,0033	± 0,0028
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0012	± 0,0019	± 0,0024	± 0,0028	± 0,0024
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0098	± 0,0095	± 0,0084	± 0,0129	± 0,0091
s_T _{hava}	°C	± 0,0071	± 0,0125	± 0,0235	± 0,0229	± 0,0116
s_P ₁	bar	± 0,1493	± 0,1791	± 0,1523	± 0,1775	± 0,1492
s_P ₁₁	bar	± 0,1393	± 0,1740	± 0,1627	± 0,1320	± 0,1674
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0554	± 0,0581	± 0,0396	± 0,0469	± 0,0471
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	0,0039	0,0005	-0,0036	0,0043	0,0000

EK 1 Tablo 4. Keban HES Ünite 4 ölçülen değerler(devam)

Ö. Nokta No		26	27	28	29	30
Tarih	-	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006
Zaman	-	03:23:25	03:29:53	03:34:19	03:36:30	03:38:43
Ölçülen Değerler						
T ₁₁	°C	7,6479	7,6721	7,6435	7,6389	7,6386
T _{201_m}	°C	7,6710	7,7024	7,6778	7,6717	7,6698
T _{202_m}	°C	7,6687	7,7002	7,6764	7,6696	7,6682
T _{203_m}	°C	7,6685	7,7065	7,6857	7,6759	7,6748
T _{hava}	°C	20,055	20,010	19,953	19,925	19,875
P _{1_m}	bar	14,119	14,192	14,194	14,201	14,177
P _{11_m}	bar	13,514	13,560	13,541	13,532	13,555
P _{Z20}	mWS	0,440	0,491	0,454	0,446	0,448
P _G	MW	116,416	101,260	100,150	100,150	101,498
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0033	± 0,0028	± 0,0024	± 0,0016	± 0,0014
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0044	± 0,0036	± 0,0056	± 0,0048	± 0,0043
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0042	± 0,0042	± 0,0032	± 0,0038	± 0,0039
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0081	± 0,0131	± 0,0093	± 0,0104	± 0,0077
s_T _{hava}	°C	± 0,0125	± 0,0308	± 0,0046	± 0,0119	± 0,0105
s_P ₁	bar	± 0,1569	± 0,0404	± 0,0592	± 0,0597	± 0,0615
s_P ₁₁	bar	± 0,1719	± 0,0474	± 0,0349	± 0,0430	± 0,0428
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0465	± 0,0433	± 0,0547	± 0,0552	± 0,0514
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	-0,0043	-0,0046	-0,0038	-0,0015	-0,0010

EK 1 Tablo 4. Keban HES Ünite 4 ölçülen değerler(devam)

Ö. Nokta No		31	32	33	34	35
Tarih	-	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006
Zama	-	03:40:53	03:47:30	03:49:41	03:54:16	03:57:09
Ölçülen değerler						
T ₁₁	°C	7,6457	7,6677	7,6624	7,6819	7,6702
T _{201_m}	°C	7,6763	7,6811	7,6844	7,6912	7,6978
T _{202_m}	°C	7,6747	7,6670	7,6764	7,6765	7,6872
T _{203_m}	°C	7,6825	7,7093	7,7052	7,7205	7,7133
T _{hava}	°C	19,861	19,920	19,926	19,914	19,941
P _{1_m}	bar	14,185	14,235	14,234	14,243	14,253
P _{11_m}	bar	13,568	13,571	13,594	13,581	13,576
P _{Z20}	mWS	0,446	0,435	0,409	0,411	0,406
P-G	MW	100,151	83,055	86,788	87,590	84,309
Standart sap.						
s_T ₁₁	°C	± 0,0037	± 0,0024	± 0,0035	± 0,0026	± 0,0031
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0065	± 0,0058	± 0,0086	± 0,0075	± 0,0056
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0055	± 0,0068	± 0,0067	± 0,0090	± 0,0054
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0122	± 0,0116	± 0,0124	± 0,0146	± 0,0103
s_T _{hava}	°C	± 0,0064	± 0,0079	± 0,0047	± 0,0080	± 0,0090
s_P ₁	bar	± 0,0437	± 0,0677	± 0,0553	± 0,0636	± 0,0642
s_P ₁₁	bar	± 0,0570	± 0,0434	± 0,0389	± 0,0456	± 0,0571
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0458	± 0,0777	± 0,0676	± 0,0483	± 0,0631
Eğim						
T ₁₁	[K/min]	0,0055	-0,0001	-0,0007	0,0031	-0,0038

EK 1 Tablo 4. Keban HES Ünite 4 ölçülen değerler(devam)

Ö. Nokta No		36
Tarih Zaman	-	11.06.2006-04:00:33
Ölçülen değerler		
T ₁₁	°C	7,6725
T _{201_m}	°C	7,6971
T _{202_m}	°C	7,6869
T _{203_m}	°C	7,7085
T _{hava}	°C	19,903
P _{1_m}	bar	14,226
P _{11_m}	bar	13,588
P _{Z20}	mWS	0,405
P _G	MW	83,107
Standart sap.		
s_T ₁₁	°C	± 0,0017
s_T ₂₀₁	°C	± 0,0058
s_T ₂₀₂	°C	± 0,0063
s_T ₂₀₃	°C	± 0,0111
s_T _{hava}	°C	± 0,0097
s_P ₁	bar	± 0,0511
s_P ₁₁	bar	± 0,0454
s_P _{Z20}	mWS	± 0,0846
Eğim		
T ₁₁	[K/min]	-0,0025

EK 2. Keban HES Verimlilik Ölçümü Değerlendirme Tabloları

EK 2 Tablo 1. Keban HES ünite 5 değerlendirmeleri

Ö. Nokta No		1	2	3	4	5
Tarih zaman	-	09.06.2006 02:33:02	09.06.2006 02:35:30	09.06.2006 02:40:26	09.06.2006 02:46:06	09.06.2006 02:48:48
T ₁₁	[°C]	7,2467	7,2320	7,2404	7,3643	7,3693
T ₂₀₁	[°C]	7,2485	7,2340	7,2413	7,3647	7,3712
T ₂₀₂	[°C]	7,2485	7,2346	7,2410	7,3640	7,3705
T ₂₀₃	[°C]	7,2496	7,2365	7,2436	7,3651	7,3714
p ₁	[bar]	14,519	14,525	14,488	14,495	14,496
p ₁₁	[bar]	13,644	13,647	13,622	13,625	13,630
Z ₂₀	[m]	692,32	692,26	692,17	692,15	692,12
P _G	[MW]	156,000	156,000	156,000	156,000	156,000
eta-G	[%]	98,50	98,50	98,50	98,50	98,50
P _V	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00 0,00	232,00
P _X	[kW]	0,00	0,00	0,00		0,00
T _{amb}	[°C]	21,0238	21,0502	21,0076	21,0061	21,0103
a	[dm ³ /kg]	0,98522	0,98528	0,98525	0,98475	0,98473
v	[dm ³ /kg]	0,99971	0,99971	0,99971	0,99972	0,99972
c _p	[J/kg/K]	4.196,39	4.196,42	4.196,41	4.196,14	4.196,13
e _h	[J/kg]	1.444,40	1.445,68	1.442,81	1.443,42	1.443,94
e _m	[J/kg]	1.333,65	1.330,23	1.334,56	1.340,71	1.335,56
delta_em_ht	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_em_gr	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	92,33	92,01	92,50	92,88	92,49
H	[m]	147,41	147,54	147,25	147,31	147,37
Q	[m ³ /s]	118,896	119,201	118,814	118,270	118,726
P	[MW]	158,610	158,610	158,610	158,610	158,610
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	117,918	118,169	117,903	117,338	117,769
P _r	MW	154,731	154,525	154,988	154,889	154,805
Belirsizlik	[%]	± 1,954	± 1,558	± 1,802	± 3,303	± 2,905
Açıklık	[%]	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0

EK 2 Tablo 1. Keban HES ünite 5 değerlendirmeleri (devam)

Ö. Nokta No		6	7	8	9	10
Tarih Zaman	-	09.06.2006 02:53:43	09.06.2006 02:58:44	09.06.2006 03:04:06	09.06.2006 03:09:38	09.06.2006 03:14:13
T ₁₁	[°C]	7,3397	7,3306	7,3190	7,3598	7,3689
T ₂₀₁	[°C]	7,3419	7,3310	7,3196	7,3607	7,3712
T ₂₀₂	[°C]	7,3409	7,3301	7,3180	7,3599	7,3689
T ₂₀₃	[°C]	7,3420	7,3320	7,3199	7,3627	7,3746
p ₁	[bar]	14,485	14,490	14,493	14,549	14,564
p ₁₁	[bar]	13,641	13,623	13,626	13,667	13,667
Z ₂₀	[m]	692,10	692,09	692,07	692,02	691,99
P-G	[MW]	156,000	156,000	156,000	156,000	154,794
eta-G	[%]	98,50	98,50	98,50	98,50	98,50
P-v	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P-x	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T-Hava	[°C]	21,0109	20,9276	20,9623	21,0078	20,9827
a	[dm ³ /kg]	0,98485	0,98489	0,98494	0,98477	0,98473
v	[dm ³ /kg]	0,99972	0,99972	0,99972	0,99972	0,99972
c _p	[J/kg/K]	4.196,19	4.196,21	4.196,24	4.196,15	4.196,13
e _h	[J/kg]	1.443,09	1.443,57	1.444,01	1.450,20	1.451,87
e _m	[J/kg]	1.336,56	1.340,42	1.342,31	1.340,98	1.333,99
delta_e _{m_ht}	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_e _{m_gr}	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	92,62	92,85	92,96	92,47	91,88
H	[m]	147,28	147,33	147,37	148,00	148,18
Q	[m ³ /s]	118,637	118,296	118,129	118,246	117,951
P	[MW]	158,610	158,610	158,610	158,610	157,390
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	117,715	117,357	117,174	117,040	116,680
P _r	MW	154,942	154,866	154,794	153,805	152,357
Belirsizlik	[%]	± 3,155	± 2,888	± 2,644	± 1,605	± 1,767
Açıklık	[%]	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0

EK 2 Tablo 1. Keban HES ünite 5 değerlendirmeleri(devam)

Ö. Nokta No		11	12	13	14	15
Tarih Zaman		09.06.2006 03:23:33	09.06.2006 03:26:08	09.06.2006 03:28:55	09.06.2006 03:33:47	09.06.2006 03:36:09
T ₁₁	[°C]	7,3557	7,3878	7,4104	7,4321	7,4300
T ₂₀₁	[°C]	7,3756	7,4041	7,4288	7,4512	7,4486
T ₂₀₂	[°C]	7,3747	7,4033	7,4272	7,4512	7,4459
T ₂₀₃	[°C]	7,3786	7,4098	7,4340	7,4553	7,4530
p ₁	[bar]	14,686	14,705	14,692	14,699	14,689
p ₁₁	[bar]	13,763	13,770	13,749	13,746	13,764
Z ₂₀	[m]	692,06	692,03	692,02	692,02	692,02
P-G	[MW]	120,377	122,055	122,867	122,666	122,610
eta-G	[%]	98,36	98,37	98,38	98,38	98,38
P-v	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P-x	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{hava}	[°C]	20,9999	20,9794	21,0296	20,9570	20,9664
a	[dm ³ /kg]	0,98474	0,98461	0,98452	0,98443	0,98444
v	[dm ³ /kg]	0,99971	0,99972	0,99972	0,99972	0,99972
c _p	[J/kg/K]	4.196,13	4.196,07	4.196,02	4.195,97	4.195,98
e _h	[J/kg]	1.456,66	1.458,98	1.458,18	1.458,90	1.457,76
e _m	[J/kg]	1.269,69	1.279,88	1.270,52	1.267,93	1.274,22
delta_e _m _ht	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_e _m _gr	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	87,16	87,72	87,13	86,91	87,41
H	[m]	148,66	148,90	148,82	148,89	148,78
Q	[m ³ /s]	96,542	97,096	98,456	98,498	97,967
P	[MW]	122,614	124,307	125,126	124,924	124,867
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	95,345	95,816	97,185	97,202	96,716
P _r	MW	118,109	119,454	120,341	120,056	120,142
Belirsizlik	[%]	± 2,431	± 2,893	± 2,089	± 2,160	± 2,271
Açıklık	[%]	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0

EK 2 Tablo 1. Keban HES ünite 5 değerlendirmeleri(devam)

Ö. Nokta No		16	17	18
Tarih Zaman	-	09.06.2006 03:46:26	09.06.2006 03:48:55	09.06.2006 03:51:26
T ₁₁	[°C]	7,5135	7,5232	7,5242
T ₂₀₁	[°C]	7,5150	7,5243	7,5242
T ₂₀₂	[°C]	7,5155	7,5237	7,5238
T ₂₀₃	[°C]	7,5152	7,5249	7,5254
p ₁	[bar]	14,492	14,489	14,487
p ₁₁	[bar]	13,635	13,642	13,629
Z ₂₀	[m]	692,00	692,02	692,03
P _G	[MW]	168,89	168,249	167,438
eta-G	[%]	698,52	98,52	98,52
P _V	[kW]	232,00	232,00	232,00
P _X	[kW]	0,00	0,00	0,00
T _{Hava}	[°C]	20,9565	20,9444	20,9248
a	[dm ³ /kg]	0,98415	0,98411	0,98411
v	[dm ³ /kg]	0,99973	0,99973	0,99973
c _p	[J/kg/K]	4.195,8	4.195,8	4.195,79
e _h	[J/kg]	1.448,2	1.447,54	1.446,89
e _m	[J/kg]	6	1.338,86	1.340,59
delta_em_ht	[J/kg]	1.336,2	0,00	0,00
delta_em_gr	[J/kg]	5	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	92,27	92,49	92,65
H	[m]	147,81	147,73	147,67
Q	[m ³ /s]	128,43	127,694	126,917
P	[MW]	3	171,011	170,189
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	127,20	126,507	125,765
P _r	MW	8	166,287	165,598
Belirsizlik	[%]	± 1,880	± 1,962	± 1,591
Açıklık	[%]	66,5	66,5	66,5

EK 2 Tablo 2. Keban HES ünite 5 (A) değerlendirmeleri

Ö. Nokta No		1	2	3	4	5
Tarih Zaman	-	10.06.2006 01:26:29	10.06.2006 01:42:57	10.06.2006 01:52:40	10.06.2006 01:54:58	10.06.2006 01:57:17
T ₁₁	[°C]	7,2414	7,3001	7,3746	7,3729	7,3746
T ₂₀₁	[°C]	7,2460	7,3029	7,3776	7,3764	7,3782
T ₂₀₂	[°C]	7,2499	7,3026	7,3754	7,3765	7,3767
T ₂₀₃	[°C]	7,2445	7,3039	7,3783	7,3765	7,3780
p ₁	[bar]	14,571	14,566	14,557	14,564	14,565
p ₁₁	[bar]	13,671	13,675	13,674	13,669	13,661
Z ₂₀	[m]	691,91	691,87	691,86	691,85	691,84
P _{-G}	[MW]	155,547	154,656	154,774	153,361	154,386
eta-G	[%]	98,50	98,50	98,50	98,49	98,49
P _{-v}	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P _{-x}	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{-Hava}	[°C]	21,5099	21,2498	21,2388	21,2415	21,1295
a	[dm ³ /kg]	0,98524	0,98500	0,98470	0,98471	0,98470
v	[dm ³ /kg]	0,99971	0,99971	0,99972	0,99972	0,99972
c _p	[J/kg/K]	4.196,40	4.196,28	4.196,11	4.196,12	4.196,11
e _h	[J/kg]	1.453,58	1.452,96	1.452,22	1.452,76	1.453,23
e _m	[J/kg]	1.329,96	1.337,27	1.338,80	1.335,01	1.336,21
delta_e _m _ht	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_e _m _gr	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	91,50	92,04	92,19	91,90	91,95
H	[m]	148,35	148,29	148,21	148,27	148,31
Q	[m ³ /s]	118,881	117,557	117,512	116,776	117,446
P	[MW]	158,152	157,251	157,370	155,941	156,977
H _{-r}	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _{-r}	[m ³ /s]	117,531	116,247	116,232	115,482	116,126
P _{-r}	MW	152,826	152,052	152,282	150,816	151,744
Belirsizlik	[%]	± 1,992	± 1,671	± 2,360	± 1,545	± 1,647
Açıklık	[%]	61,5	61,5	61,5	61,5	61,5

EK 2 Tablo 2. Keban HES ünite 5 (A) değerlendirme(devam)

Ö. Nokta No		6	7	8	9	10
Tarih Zaman		10.06.2006 01:59:41	10.06.2006 02:02:05	10.06.2006 02:08:15	10.06.2006 02:15:07	10.06.2006 02:19:46
T ₁₁	[°C]	7,3684	7,3714	7,3699	7,3592	7,3851
T ₂₀₁	[°C]	7,3711	7,3747	7,3915	7,3815	7,4089
T ₂₀₂	[°C]	7,3705	7,3729	7,3893	7,3804	7,4077
T ₂₀₃	[°C]	7,3716	7,3752	7,3882	7,3821	7,4147
p ₁	[bar]	14,562	14,573	14,700	14,709	14,730
p ₁₁	[bar]	13,672	13,661	13,756	13,746	13,758
Z ₂₀	[m]	691,85	691,83	691,93	691,89	691,87
P _G	[MW]	155,542	154,154	121,821	120,000	109,306
eta-G	[%]	98,50	98,49	98,37	98,36	98,29
P _v	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P _x	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{Hava}	[°C]	21,1314	21,1326	21,1197	21,1629	21,1064
a	[dm ³ /kg]	0,98473	0,98472	0,98468	0,98472	0,98461
v	[dm ³ /kg]	0,99972	0,99972	0,99972	0,99971	0,99972
cp	[J/kg/K]	4.196,13	4.196,12	4.196,11	4.196,13	4.196,07
e _h	[J/kg]	1.453,03	1.454,09	1.459,53	1.460,63	1.460,86
e _m	[J/kg]	1.338,33	1.336,52	1.277,41	1.264,69	1.248,99
delta_em_ht	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_em_gr	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	92,11	91,91	87,52	86,59	85,50
H	[m]	148,29	148,40	148,96	149,07	149,09
Q	[m ³ /s]	118,134	117,244	97,099	96,623	89,203
P	[MW]	158,147	156,743	124,071	122,233	111,446
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	116,815	115,892	95,801	95,295	87,970
P _r	MW	152,908	151,383	119,160	117,261	106,888
Belirsizlik	[%]	± 1,865	± 1,958	± 2,270	± 2,050	± 2,828
Açıklık	[%]	61,5	61,5	51,0	51,0	51,0

EK 2 Tablo 2. Keban HES ünite 5 (A) değerlendirmeleri(devam)

Ö. Nokta No		11	12	13	14	15
Tarih Zaman	-	10.06.2006 02:22:03	10.06.2006 02:24:31	10.06.2006 02:31:55	10.06.2006 02:34:17	10.06.2006 02:40:56
T ₁₁	[°C]	7,3957	7,4125	7,4135	7,4179	7,3814
T ₂₀₁	[°C]	7,4180	7,4306	7,4686	7,4780	7,4537
T ₂₀₂	[°C]	7,4171	7,4280	7,4743	7,4876	7,4652
T ₂₀₃	[°C]	7,4131	7,4351	7,4538	7,4581	7,4233
p ₁	[bar]	14,701	14,684	14,808	14,803	14,798
p ₁₁	[bar]	13,725	13,737	13,799	13,810	13,817
Z ₂₀	[m]	691,85	691,86	691,89	691,84	691,83
P _G	[MW]	117,256	113,837	91,409	92,453	91,627
eta-G	[%]	98,34	98,32	98,10	98,12	98,11
P _v	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P _x	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{Hava}	[°C]	21,0650	21,0396	21,1444	21,1285	20,9673
a	[dm ³ /kg]	0,98458	0,98451	0,98445	0,98442	0,98455
v	[dm ³ /kg]	0,99972	0,99972	0,99971	0,99972	0,99971
c _p	[J/kg/K]	4.196,05	4.196,01	4.195,98	4.195,97	4.196,04
e _h	[J/kg]	1.459,35	1.456,92	1.466,40	1.466,92	1.466,73
e _m	[J/kg]	1.274,36	1.275,19	1.157,74	1.144,88	1.114,81
delta_e _{m_ht}	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_e _{m_gr}	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	87,32	87,53	78,95	78,05	76,01
H	[m]	148,94	148,69	149,66	149,71	149,69
Q	[m ³ /s]	93,718	90,953	80,658	82,483	83,962
P	[MW]	119,464	116,015	93,408	94,460	93,628
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	92,470	89,817	79,393	81,174	82,635
P _r	MW	114,756	111,722	89,080	90,036	89,260
Belirsizlik	[%]	± 7,613	± 2,398	± 2,883	± 3,155	± 2,898
Açıklık	[%]	51,0	51,0	43,0	43,0	43,0

EK 2 Tablo 2. Keban HES ünite 5 (A) değerlendirme(devam)

Ö. Nokta No		16	17	18	19	20
Tarih Zaman	-	10.06.2006 02:43:34	10.06.2006 02:45:58	10.06.2006 02:52:31	10.06.2006 02:54:48	10.06.2006 02:57:17
T ₁₁	[°C]	7,3723	7,3733	7,4088	7,4393	7,4724
T ₂₀₁	[°C]	7,4546	7,4476	7,4105	7,4405	7,4730
T ₂₀₂	[°C]	7,4651	7,4548	7,4081	7,4380	7,4711
T ₂₀₃	[°C]	7,4172	7,4146	7,4123	7,4422	7,4735
p ₁	[bar]	14,797	14,809	14,452	14,450	14,452
p ₁₁	[bar]	13,815	13,827	13,596	13,597	13,599
Z ₂₀	[m]	691,83	691,81	691,81	691,85	691,85
P _G	[MW]	89,654	91,404	176,361	176,361	175,176
eta-G	[%]	98,08	98,10	98,53	98,53	98,53
P _V	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P _X	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{-Hava}	[°C]	21,0498	21,0720	20,9410	20,9677	20,9903
a	[dm ³ /kg]	0,98458	0,98459	0,98457	0,98445	0,98432
v	[dm ³ /kg]	0,99971	0,99971	0,99972	0,99972	0,99973
c _p	[J/kg/K]	4.196,05	4.196,06	4.196,04	4.195,98	4.195,91
e _h	[J/kg]	1.466,74	1.467,92	1.448,35	1.447,81	1.447,34
e _m	[J/kg]	1.088,22	1.117,70	1.333,35	1.335,35	1.339,87
delta_em_ht	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_em_gr	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	74,19	76,14	92,06	92,23	92,57
H	[m]	149,69	149,81	147,82	147,76	147,71
Q	[m ³ /s]	84,187	83,543	134,383	134,182	132,834
P	[MW]	91,641	93,403	179,229	179,229	178,029
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	82,857	82,190	133,096	132,922	131,608
P _r	MW	87,364	88,937	174,131	174,228	173,146
Belirsizlik	[%]	± 3,491	± 3,136	± 3,247	± 4,170	± 3,517
Açıklık	[%]	43,0	43,0	70,0	70,0	70,0

EK 2 Tablo 2. Keban HES ünite 5 (A) değerlendirme(devam)

Ö. Nokta No		21	22	23	24	25
Tarih	-	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006
Zaman	-	02:59:25	03:01:53	03:07:06	03:09:24	03:13:57
T ₁₁	[°C]	7,4935	7,4908	7,4889	7,4854	7,4748
T ₂₀₁	[°C]	7,4950	7,4928	7,4914	7,4874	7,4772
T ₂₀₂	[°C]	7,4921	7,4903	7,4911	7,4870	7,4769
T ₂₀₃	[°C]	7,4955	7,4938	7,4921	7,4861	7,4775
p ₁	[bar]	14,452	14,450	14,514	14,514	14,516
p ₁₁	[bar]	13,598	13,599	13,647	13,652	13,642
Z ₂₀	[m]	691,87	691,90	691,91	691,91	691,92
P _G	[MW]	177,703	175,676	164,319	164,578	164,600
eta-G	[%]	98,53	98,53	98,51	98,51	98,51
P _V	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P _X	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{Hava}	[°C]	20,9714	20,9061	20,8816	20,8594	20,8391
a	[dm ³ /kg]	0,98423	0,98424	0,98425	0,98426	0,98430
v	[dm ³ /kg]	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973
c _p	[J/kg/K]	4.195,86	4.195,86	4.195,87	4.195,88	4.195,90
e _h	[J/kg]	1.448,10	1.447,22	1.450,12	1.449,93	1.450,31
e _m	[J/kg]	1.336,70	1.333,08	1.334,36	1.341,59	1.334,94
delta_em_ht	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_em_gr	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	92,31	92,11	92,02	92,53	92,05
H	[m]	147,79	147,70	148,00	147,98	148,02
Q	[m ³ /s]	135,065	133,891	125,142	124,664	125,301
P	[MW]	180,591	178,536	167,031	167,293	167,315
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	133,783	132,661	123,869	123,403	124,018
P _r	MW	175,500	173,660	161,983	162,269	162,227
Belirsizlik	[%]	± 2,110	± 2,349	± 1,567	± 1,563	± 2,112
Açıklık	[%]	70,0	70,0	65,0	65,0	65,0

EK 2 Tablo 2. Keban HES ünite 5 (A) değerlendirmeleri(devam)

Ö. Nokta No		26	27	28	29	30
Tarih Zaman	-	10.06.2006 03:16:16	10.06.2006 03:18:34	10.06.2006 03:34:58	10.06.2006 03:41:28	10.06.2006 03:43:58
T ₁₁	[°C]	7,4715	7,4754	7,3988	7,3895	7,3892
T ₂₀₁	[°C]	7,4730	7,4777	7,4125	7,4029	7,4020
T ₂₀₂	[°C]	7,4722	7,4770	7,4139	7,4040	7,4023
T ₂₀₃	[°C]	7,4718	7,4789	7,4107	7,4039	7,4036
p ₁	[bar]	14,517	14,514	14,649	14,655	14,651
p ₁₁	[bar]	13,639	13,641	13,733	13,723	13,728
Z ₂₀	[m]	691,93	691,92	691,88	691,89	691,87
P _G	[MW]	165,943	163,84	133,25	131,40	133,24
eta-G	[%]	98,52	1 98,51	6 98,43	0 98,42	1 98,43
P _v	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P _x	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{Hava}	[°C]	20,8461	20,8353	20,7278	20,7384	20,6866
a	[dm ³ /kg]	0,98432	0,98430	0,98458	0,98462	0,98462
v	[dm ³ /kg]	0,99973	0,99973	0,99972	0,99972	0,99972
c _p	[J/kg/K]	4.195,91	4.195,90	4.196,05	4.196,07	4.196,07
e _h	[J/kg]	1.450,42	1.449,95	1.456,95	1.457,08	1.457,32
e _m	[J/kg]	1.342,26	1.333,81	1.301,58	1.296,44	1.298,82
delta_e _m _ht	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_e _m _gr	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	92,54	91,99	89,34	88,97	89,12
H	[m]	148,03	147,98	148,69	148,71	148,73
Q	[m ³ /s]	125,630	124,831	104,164	103,132	104,374
P	[MW]	168,675	166,546	135,616	133,742	135,601
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	124,339	123,567	102,862	101,838	103,056
P _r	MW	163,526	161,541	130,593	128,771	130,529
Belirsizlik	[%]	± 1,733	± 2,055	± 2,002	± 2,023	± 1,639
Açıklık	[%]	65,0	65,0	56,0	56,0	56,0

EK 2 Tablo 2. Keban HES, ünite 5 (A) değerlendirme(devam)

Ö. Nokta No		31	32
Tarih	-	10.06.2006	10.06.2006
Zaman	-	03:46:22	03:48:37
T ₁₁	[°C]	7,3974	7,4065
T ₂₀₁	[°C]	7,4098	7,4186
T ₂₀₂	[°C]	7,4113	7,4180
T ₂₀₃	[°C]	7,4087	7,4188
p ₁	[bar]	14,655	14,651
p ₁₁	[bar]	13,722	13,722
Z ₂₀	[m]	691,88	691,86
P _G	[MW]	133,185	133,119
eta-G	[%]	98,43	98,43
P _v	[kW]	232,00	232,00
P _x	[kW]	0,00	0,00
T-Hava	[°C]	20,6011	20,4841
a	[dm ³ /kg]	0,98459	0,98455
v	[dm ³ /kg]	0,99972	0,99972
c _p	[J/kg/K]	4.196,05	4.196,03
e _n	[J/kg]	1.457,47	1.457,26
e _m	[J/kg]	1.304,07	1.305,10
delta_e _m _ht	[J/kg]	0,00	0,00
delta_e _m _gr	[J/kg]	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	89,48	89,56
H	[m]	148,75	148,73
Q	[m ³ /s]	103,910	103,777
P	[MW]	135,545	135,478
H _r	[m]	145,00	
Q _r	[m ³ /s]	102,593	145,00 102,469 130,420
P _r	MW	130,456	
Belirsizlik	[%]	± 2,107	± 1,986
Açıklık	[%]	56,0	56,0

EK 2 Tablo 3. Keban HES ünite 5 (B) değerlendirmeleri

Ö. Nokta No		1	2	3	4	5
Tarih	-	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006	10.06.2006
Zaman	-	04:07:04	04:10:40	04:13:02	04:15:58	04:18:57
T ₁₁	[°C]	7,4656	7,4729	7,4739	7,4815	7,4918
T ₂₀₁	[°C]	7,4720	7,4787	7,4799	7,4877	7,4981
T ₂₀₂	[°C]	7,4693	7,4771	7,4790	7,4865	7,4962
p ₁	[bar]	14,616	14,611	14,611	14,613	14,617
p ₁₁	[bar]	13,700	13,703	13,698	13,693	13,692
Z ₂₀	[m]	691,83	691,84	691,82	691,85	691,83
P _G	[MW]	156,830	144,353	142,164	143,504	142,666
eta-G	[%]	98,50	98,47	98,46	98,47	98,46
P _v	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P _x	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{Hava}	[°C]	20,3779	20,4434	20,4146	20,3180	20,2393
a	[dm ³ /kg]	0,98433	0,98430	0,98430	0,98427	0,98423
v	[dm ³ /kg]	0,99972	0,99972	0,99972	0,99972	0,99972
c _p	[J/kg/K]	4.195,91	4.195,90	4.195,90	4.195,88	4.195,86
e _h	[J/kg]	1.459,12	1.455,43	1.455,10	1.455,37	1.455,72
e _m	[J/kg]	1.331,50	1.332,34	1.330,06	1.328,83	1.329,64
delta_e _{m_ht}	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_e _{m_gr}	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	91,25	91,54	91,41	91,31	91,34
H	[m]	148,92	148,54	148,51	148,53	148,57
Q	[m ³ /s]	119,719	110,175	108,700	109,819	109,116
P	[MW]	159,450	146,831	144,617	145,972	145,125
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	118,134	108,854	107,409	108,505	107,797
P _r	[MW]	153,203	141,614	139,527	140,795	139,928
Belirsizlik	[%]	± 1,878	± 1,468	± 1,411	± 1,355	± 1,822
Açıklık	[%]	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0

EK 2 Tablo 4. Keban HES ünite 4 değerlendirmeleri

Ö. Nokta No		1	2	3	4	5
Tarih	-	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006
Zaman		01:35:38	01:40:44	01:47:50	01:54:52	02:07:34
T ₁₁	[°C]	7,3789	7,4025	7,4322	7,3738	7,4624
T ₂₀₁	[°C]	7,3846	7,4192	7,4393	7,3839	7,4674
T ₂₀₂	[°C]	7,3823	7,4088	7,4371	7,3802	7,4668
T ₂₀₃	[°C]	7,3838	7,4087	7,4372	7,3798	7,4703
p ₁	[bar]	14,471	14,501	14,498	14,500	14,502
p ₁₁	[bar]	13,608	13,636	13,624	13,630	13,622
Z ₂₀	[m]	691,92	691,85	691,85	691,84	691,82
P _G	[MW]	165,133	160,534	160,133	161,153	161,161
eta-G	[%]	98,52	98,52	98,52	98,52	98,52
P _v	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P _x	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{Hava}	[°C]	20,3530	20,3019	20,2729	20,3568	20,2669
a	[dm ³ /kg]	0,98469	0,98458	0,98447	0,98470	0,98435
v	[dm ³ /kg]	0,99972	0,99972	0,99972	0,99972	0,99972
c _p	[J/kg/K]	4.196,10	4.196,05	4.195,99	4.196,11	4.195,92
e _h	[J/kg]	1.446,36	1.449,22	1.448,41	1.449,21	1.449,46
e _m	[J/kg]	1.322,83	1.308,96	1.321,63	1.316,08	1.318,35
delta_e _{m_ht}	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_e _{m_gr}	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	91,46	90,32	91,25	90,81	90,95
H	[m]	147,61	147,91	147,82	147,90	147,93
Q	[m ³ /s]	126,843	124,632	123,131	124,434	124,227
P	[MW]	167,839	163,184	162,779	163,811	163,819
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	125,716	123,402	121,950	123,206	122,990
P _r	MW	163,402	158,399	158,139	159,010	158,977
Belirsizlik	[%]	± 3,283	± 2,234	± 2,153	± 2,140	± 2,500
Açıklık	[%]	64,0	64,0	64,0	64,0	64,0

EK 2 Tablo 4. Keban HES ünite 4 değerlendirmeleri(devam)

Ö. Nokta No		6	7	8	9	10
Tarih	-	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006
Zaman	-	02:09:52	02:12:26	02:14:49	02:22:12	02:24:34
T ₁₁	[°C]	7,4525	7,4574	7,4583	7,4845	7,4907
T ₂₀₁	[°C]	7,4587	7,4621	7,4634	7,4916	7,4977
T ₂₀₂	[°C]	7,4564	7,4611	7,4625	7,4912	7,4966
T ₂₀₃	[°C]	7,4558	7,4630	7,4647	7,4924	7,4972
p ₁	[bar]	14,497	14,494	14,496	14,557	14,566
p ₁₁	[bar]	13,620	13,629	13,624	13,656	13,674
Z ₂₀	[m]	691,85	691,84	691,85	691,85	691,86
P _G	[MW]	160,839	159,592	159,761	146,898	147,371
eta-G	[%]	98,52	98,51	98,51	98,48	98,48
P _v	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P _x	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{Hava}	[°C]	20,2620	20,2777	20,2235	20,1931	20,2167
a	[dm ³ /kg]	0,98439	0,98437	0,98437	0,98425	0,98423
v	[dm ³ /kg]	0,99972	0,99972	0,99972	0,99972	0,99972
cp	[J/kg/K]	4.195,94	4.195,93	4.195,93	4.195,87	4.195,86
e _n	[J/kg]	1.448,35	1.447,89	1.448,14	1.450,91	1.451,76
e _m	[J/kg]	1.326,68	1.324,56	1.321,33	1.316,98	1.322,59
delta_e _m _ht	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_e _m _gr	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	91,60	91,48	91,24	90,77	91,10
H	[m]	147,82	147,77	147,80	148,08	148,16
Q	[m ³ /s]	123,200	122,445	122,874	113,404	113,285
P	[MW]	163,493	162,231	162,402	149,393	149,871
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	122,021	121,293	121,707	112,220	112,069
P _r	MW	158,842	157,692	157,816	144,759	145,095
Belirsizlik	[%]	± 2,585	± 1,937	± 2,238	± 2,737	± 2,014
Açıklık	[%]	64,0	64,0	64,0	60,0	60,0

EK 2 Tablo 4. Keban HES ünite 4 değerlendirmeleri(devam)

Ö. Nokta No		11	12	13	14	15
Tarih Zaman	-	11.06.2006 02:28:59	11.06.2006 02:33:29	11.06.2006 02:35:50	11.06.2006 02:40:20	11.06.2006 02:44:19
T ₁₁	[°C]	7,5165	7,5524	7,5588	7,5914	7,6078
T ₂₀₁	[°C]	7,5233	7,5582	7,5654	7,5975	7,6208
T ₂₀₂	[°C]	7,5257	7,5561	7,5679	7,5957	7,6174
T ₂₀₃	[°C]	7,5232	7,5608	7,5652	7,5956	7,6211
p ₁	[bar]	14,565	14,565	14,566	14,559	14,636
p ₁₁	[bar]	13,665	13,674	13,669	13,671	13,706
Z ₂₀	[m]	691,85	691,83	691,82	691,81	691,90
P _G	[MW]	146,137	146,858	146,660	147,474	131,443
eta-G	[%]	98,48	98,48	98,48	98,49	98,42
P _v	[k	232,0	232,0	232,0	232,0	232,0
P _x	W]	0	0	0	0	0
T _{Hava}	[°C]	20,1924	20,1351	20,1434	20,2331	20,2196
a	[dm ³ /kg]	0,98413	0,98398	0,98396	0,98383	0,98375
v	[dm ³ /kg]	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973
c _p	[J/kg/K]	4.195,80	4.195,73	4.195,71	4.195,65	4.195,60
e _h	[J/kg]	1.451,48	1.451,76	1.451,96	1.451,33	1.455,07
e _m	[J/kg]	1.318,12	1.322,30	1.319,48	1.329,77	1.300,98
delta_e _m _ht	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_e _m _gr	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	90,81	91,08	90,88	91,62	89,41
H	[m]	148,14	148,16	148,18	148,12	148,50
Q	[m ³ /s]	112,722	112,918	113,008	112,752	102,801
P	[MW]	148,622	149,352	149,152	149,974	133,779
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	111,523	111,705	111,787	111,558	101,582
P _r	MW	143,928	144,593	144,370	145,260	129,075
Belirsizlik	[%]	± 2,097	± 2,460	± 1,972	± 2,481	± 1,725
Açıklık	[%]	60,0	60,0	60,0	60,0	55,0

EK 2 Tablo 4. Keban HES ünite 4 değerlendirmeleri(devam)

Ö. Nokta No		16	17	18	19	20
Tarih Zaman	-	11.06.2006 02:46:59	11.06.2006 02:51:52	11.06.2006 02:56:13	11.06.2006 02:58:26	11.06.2006 03:00:43
T ₁₁	[°C]	7,6102	7,5949	7,6120	7,6228	7,6327
T ₂₀₁	[°C]	7,6246	7,6111	7,6266	7,6375	7,6467
T ₂₀₂	[°C]	7,6233	7,6096	7,6245	7,6351	7,6443
T ₂₀₃	[°C]	7,6251	7,6106	7,6266	7,6385	7,6501
p ₁	[bar]	14,645	14,633	14,646	14,653	14,639
p ₁₁	[bar]	13,709	13,727	13,712	13,726	13,715
Z ₂₀	[m]	691,90	691,86	691,84	691,85	691,83
P _G	[MW]	132,282	127,967	132,115	129,201	130,766
eta-G	[%]	98,43	98,41	98,43	98,41	98,42
P _v	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P _x	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{Hava}	[°C]	20,1842	20,3000	20,3314	20,3326	20,2836
a	[dm ³ /kg]	0,98373	0,98379	0,98373	0,98368	0,98364
v	[dm ³ /kg]	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973
cp	[J/kg/K]	4.195,60	4.195,63	4.195,59	4.195,57	4.195,55
e _h	[J/kg]	1.456,35	1.454,61	1.456,93	1.456,95	1.456,07
e _m	[J/kg]	1.292,68	1.289,86	1.294,85	1.293,77	1.290,88
delta_em_ht	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_em_gr	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	88,76	88,67	88,88	88,80	88,66
H	[m]	148,63	148,46	148,69	148,69	148,60
Q	[m ³ /s]	104,116	100,968	103,812	101,626	103,076
P	[MW]	134,626	130,269	134,457	131,515	133,095
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	102,836	99,785	102,515	100,355	101,819
P _r	MW	129,720	125,747	129,480	126,644	128,282
Belirsizlik	[%]	± 2,226	± 2,240	± 2,115	± 2,509	± 2,465
Açıklık	[%]	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0

EK 2 Tablo 4. Keban HES ünite 4 değerlendirmeleri(devam)

Ö. Nokta No		21	22	23	24	25
Tarih	-	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006
Zaman		03:07:16	03:11:44	03:13:58	03:16:14	03:20:38
T ₁₁	[°C]	7,6215	7,6154	7,6148	7,6188	7,6419
T ₂₀₁	[°C]	7,6444	7,6386	7,6392	7,6417	7,6638
T ₂₀₂	[°C]	7,6430	7,6370	7,6374	7,6400	7,6616
T ₂₀₃	[°C]	7,6443	7,6381	7,6375	7,6417	7,6664
p ₁	[bar]	14,726	14,680	14,707	14,697	14,692
p ₁₁	[bar]	13,778	13,741	13,748	13,762	13,748
Z ₂₀	[m]	691,86	691,85	691,85	691,82	691,84
P _{-G}	[MW]	116,410	117,033	115,848	117,086	116,748
eta-G	[%]	98,34	98,34	98,33	98,34	98,34
P _{-V}	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P _{-X}	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{-Hava}	[°C]	20,1409	20,0546	20,0198	20,0183	20,0070
a	[dm ³ /kg]	0,98367	0,98370	0,98370	0,98368	0,98359
v	[dm ³ /kg]	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973
cp	[J/kg/K]	4.195,56	4.195,58	4.195,58	4.195,57	4.195,52
e _h	[J/kg]	1.461,80	1.457,53	1.460,00	1.459,48	1.458,70
e _m	[J/kg]	1.266,22	1.262,32	1.261,01	1.265,23	1.262,58
delta_em_ht	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_em_gr	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	86,62	86,61	86,37	86,69	86,56
H	[m]	149,19	148,75	149,01	148,95	148,87
Q	[m ³ /s]	93,647	94,433	93,584	94,258	94,187
P	[MW]	118,609	119,237	118,043	119,291	118,950
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	92,322	93,234	92,318	92,999	92,954
P _r	MW	113,648	114,753	113,315	114,574	114,340
Belirsizlik	[%]	± 2,735	± 2,949	± 2,744	± 3,364	± 2,752
Açıklık	[%]	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5

EK 2 Tablo 4. Keban HES ünite 4 değerlendirmeleri(devam)

Ö. Nokta No		26	27	28	29	30
Tarih	-	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006
Zaman	-	03:23:25	03:29:53	03:34:19	03:36:30	03:38:43
T ₁₁	[°C]	7,6479	7,6721	7,6435	7,6389	7,6386
T ₂₀₁	[°C]	7,6710	7,7024	7,6778	7,6717	7,6698
T ₂₀₂	[°C]	7,6687	7,7002	7,6764	7,6696	7,6682
T ₂₀₃	[°C]	7,6685	7,7065	7,6857	7,6759	7,6748
p ₁	[bar]	14,680	14,754	14,756	14,763	14,739
p ₁₁	[bar]	13,767	13,813	13,794	13,784	13,808
Z ₂₀	[m]	691,84	691,89	691,85	691,85	691,85
P-G	[MW]	116,416	101,260	100,150	100,150	101,498
eta-G	[%]	98,34	98,21	98,20	98,20	98,21
P _v	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P _x	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{Hava}	[°C]	20,0550	20,0099	19,9531	19,9253	19,8749
a	[dm ³ /kg]	0,98357	0,98345	0,98355	0,98358	0,98358
v	[dm ³ /kg]	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973
cp	[J/kg/K]	4.195,51	4.195,45	4.195,50	4.195,51	4.195,52
e _h	[J/kg]	1.457,35	1.461,82	1.462,61	1.463,10	1.460,85
e _m	[J/kg]	1.270,53	1.230,47	1.203,59	1.217,51	1.224,08
delta_em_ht	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta em gr	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	87,18	84,17	82,29	83,21	83,79
H	[m]	148,74	149,19	149,27	149,32	149,09
Q	[m ³ /s]	93,333	83,961	84,907	83,936	84,595
P	[MW]	118,615	103,339	102,221	102,221	103,579
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	92,154	82,773	83,683	82,713	83,426
P _r	MW	114,175	99,016	97,864	97,816	99,344
Belirsizlik	[%]	± 3,017	± 3,224	± 2,740	± 2,801	± 2,324
Açıklık	[%]	50,5	45,5	45,5	45,5	45,5

EK 2 Tablo 4. Keban HES ünite 4 değerlendirmeleri(devam)

Ö. Nokta No		31	32	33	34	35
Tarih	-	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006	11.06.2006
Zaman		03:40:53	03:47:30	03:49:41	03:54:16	03:57:09
T ₁₁	[°C]	7,6457	7,6677	7,6624	7,6819	7,6702
T ₂₀₁	[°C]	7,6763	7,6811	7,6844	7,6912	7,6978
T ₂₀₂	[°C]	7,6747	7,6670	7,6764	7,6765	7,6872
T ₂₀₃	[°C]	7,6825	7,7093	7,7052	7,7205	7,7133
p ₁	[bar]	14,746	14,796	14,795	14,804	14,815
p ₁₁	[bar]	13,820	13,824	13,847	13,834	13,829
Z ₂₀	[m]	691,85	691,83	691,81	691,81	691,81
P _G	[MW]	100,151	83,055	86,788	87,590	84,309
eta-G	[%]	98,20	97,97	98,03	98,04	97,99
P _v	[kW]	232,00	232,00	232,00	232,00	232,00
P _x	[kW]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T _{Hava}	[°C]	19,8614	19,9201	19,9260	19,9140	19,9410
a	[dm ³ /kg]	0,98355	0,98348	0,98349	0,98343	0,98345
v	[dm ³ /kg]	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973
cp	[J/kg/K]	4.195,50	4.195,46	4.195,47	4.195,44	4.195,45
e _h	[J/kg]	1.461,35	1.462,90	1.463,92	1.464,47	1.465,63
e _m	[J/kg]	1.225,63	1.265,57	1.241,09	1.282,07	1.229,53
delta_e _m _h _t	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
delta_e _m _g _r	[J/kg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA-corr	[%]	83,87	86,51	84,78	87,55	83,89
H	[m]	149,14	149,30	149,41	149,46	149,58
Q	[m ³ /s]	83,381	67,154	71,504	69,848	70,148
P	[MW]	102,222	85,010	88,767	89,574	86,272
H _r	[m]	145,00	145,00	145,00	145,00	145,00
Q _r	[m ³ /s]	82,214	66,179	70,442	68,797	69,066
P _r	MW	97,992	81,363	84,870	85,593	82,340
Belirsizlik	[%]	± 3,528	± 3,244	± 3,737	± 3,969	± 3,094
Açıklık	[%]	45,5	42,0	42,0	42,0	42,0

EK 2 Tablo 4. Keban HES ünite 4 değerlendirmeleri(devam)

Ö. Nokta No		36
Tarih Zaman	-	11.06.2006 04:00:33
T ₁₁	[°C]	7,6725
T ₂₀₁	[°C]	7,6971
T ₂₀₂	[°C]	7,6869
T ₂₀₃	[°C]	7,7085
p ₁	[bar]	14,788
p ₁₁	[bar]	13,841
Z ₂₀	[m]	691,81
P-G	[MW]	83,107
eta-G	[%]	97,97
P-v	[kW]	232,00
P-x	[kW]	0,00
T-Hava	[°C]	19,9031
a	[dm ³ /kg]	0,98345
v	[dm ³ /kg]	0,99973
c _p	[J/kg/K]	4.195,45
e _h	[J/kg]	1.462,49
e _m	[J/kg]	1.251,53
delta_e _{m_ht}	[J/kg]	0,00
delta_e _{m_gr}	[J/kg]	0,00
ETA-corr	[%]	85,58
H	[m]	149,26
Q	[m ³ /s]	67,948
P	[MW]	85,062
H _{-r}	[m]	145,00
Q _{-r}	[m ³ /s]	66,972
P _{-r}	MW	81,447
Belirsizlik	[%]	± 3,096
Açıklık	[%]	42,0

EK 2 Tablo 5. Keban HES, ünite 4 - ünite 5 veri dosyası

Türbin tipi	Dikey eksenli Francis türbin	
Ölçüm kısmı 1 (YB) Kesit Termometre sayısı		A1=16,98 [m ²] 1
Ölçüm kısmı 2 (AB) Kesit Termometre sayısı	serbest	A2=42,16 [m ²] 3
İç kayıplar	İhmal edildi	0
Harici kayıplar	Sabit	P _v :232,00 [kW]
Nominal Düşü		H _r =145,00 [m]
Yükseklik Yükseklik YB-ölçüm kısmı Yükseklik YB-ölçüm kısmı Yükseklik YB-manometre Ref. Yükseklik AB-seviyesi	Z ₁ =689,50 [m] Z ₁₁ =692,65 [m] Z _{1M} ,Z _{11M} =695,23 [m] Z _{20ref} =691,40 [m]	
Generatör Verimi eta-G = f(P)	Veriler, Keban HES Ünite 5. Şekil 1. 11 'den alınmıştır.	
Fiziksel değerler Atm. basıncı Enlem Yer çekim ivmesi	P _{atm} =0,93248 [bar] 38,50 [°] g=9,79830 [m/s ²]	

EK 2 Tablo 6. Keban HES, ünite 4-ünite 5 belirsizlik hesaplanmasında kullanılan temel veriler

Özgül hidrolik enerji (e_h)		
P_1, P_{11}	$\pm 0,100$ [%]	Basınç sensörü P_{max} 40,000 [bar]
Z_1, Z_{11}	$\pm 0,010$ [m]	
Z_2	$\pm 0,010$ [m]	
Z_{21}	$\pm 0,300$ [%]	Basınç sensörü P_{max} 0,250 [bar]
Özgül mekanik enerji (e_m)		
\bar{a} değerlendirmesi	$\pm 0,200$ [%] $\pm 1,85E-06$ [J/kg/K]	
c_p değerlendirmesi	$\pm 0,500$ [%] $\pm 0,500$ [J/kg/K]	
Sıcaklık farkı	$\pm 0,001$ [K]	
Sıcaklık dağılımı YB	$\pm 0,200$ [% e_m den] (YB: yüksek basınç)	
Sıcaklık dağılımı AB	$\pm 0,600$ [% e_m den] (AB: alçak basınç)	
Genel değerler		
Akış	$\pm 1,500$ [%]	
Isı transferi	$\pm 0,100$ [% e_m den]	
Ortam sıcaklığı	$\pm 20,000$	[% düzeltmenin.]

EK 3. Bir Ölçüm Noktası İçin Verim ve Belirsizliğin Bulunması

A - Örnek Veri Değerlendirme

Bu ölçme değerlendirmesi, ölçümden elde edilen verileri Ek 3 Tablo 1’de verilen ölçme grubu Keban HES Ünite 5 için yapılan M5(A) 24 No lu ölçüm noktasına (ek 1 tablo 4) göre yapılmıştır. Yapılan tüm ölçüm noktaları için elde edilen veriler ek 1 tablo 1-4’te de verilmektedir. Hesaplamalar “1.4 Termodinamik Metotla Verimlilik Ölçümü ve Hesaplamaları” bölümde anlatılan yöntemlerle hesaplanmıştır.

Ek 3 Tablo 1. Keban HES Ünite 5 için yapılan ölçme grubu M5(A) 24 numaralı ölçüm noktası değerleri

Veri	Değer	Birim	Açıklama
g	9,79830	[m/s ²]	
p _{atm}	0,93248	[bar]	
A ₁	16,98	[m ²]	
A ₂	42,16	[m ²]	
Z ₁	689,50	[m]	
Z ₁₁	692,65	[m]	
Z _{1m} , Z _{11m}	695,23	[m]	
Z _{20ref}	691,40	[m]	
p _{1m}	13,952	[bar]	
p _{11m}	13,399	[bar]	
p ₂	0	[bar]	
p ₂₁	0	[bar]	
p _{z20}	0,513	[mWC]	
Z ₂₀	691,91	[m]	
T ₁₁	7,4854	[°C]	
T ₂₀₁	7,4874	[°C]	korr _{T201} = +0,0000 °C
T ₂₀₂	7,4870	[°C]	korr _{T202} = +0,0000 °C
T ₂₀₃	7,4861	[°C]	korr _{T203} = +0,0000 °C
P _G	164,578	[MW]	
η _G	98,51	[%]	
P _V	232,0	[kW]	Dış kayıplar
H _r	145,0	[m]	
Q	124,704	[m ³ /s]	Kabul edilmiştir.

A.1. Özgül Mekanik Enerji Değerlendirmesi:

Özgül mekanik enerji değerlendirme eşitlik (25) ile verilen ifadeye göre yapılır. Bu ifadeye bilinmeyen değerler Ek 3 Tablo 1'de verilen ölçüm değerleri kullanılarak aşağıda yapılan hesaplanırlardan faydalanılarak bulunmuştur.

Basıncı bulmak için (27) numaralı eşitlikte tablodaki değerler yerleştirilirse,

Ölçülen basınç p_{11m} ölçüm yeri ve basınç sensörü yeri farkına göre düzeltilmelidir.

Francis türbinlerde p_{21} sıfır alınabilir. Buna göre

$$p = p_{atm} + \frac{p_{11m} + p_{21}}{2}$$

$$= 0,93248 + \frac{13,399}{2}$$

=7,63129 [bar] elde edilir. (29) eşitliğinde sıcaklık ve özgül hız değerleri yerine konularak

$$T = T_{11} = 7,4854 \quad [^{\circ}C]$$

$$\bar{v} = 0,9999783 \cdot 10^{-3} \quad [m^3 / kg]$$

$$p_{11} = p_{11m} + \frac{g \cdot (z_{11m} - z_{11})}{\bar{v}} \quad (27)$$

$$= 13,399 + \frac{9,7983 \cdot (695,23 - 692,65)}{0,999783 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^{-5}$$

$$= 13,65185 \quad [bar] \text{ bulunur.}$$

Termodinamik faktörler suyun eş sıcaklığı, özgül hacmi ve özgül ısısını tablodan bulmak için ölçülen sıcaklıklar kullanılarak şu hesaplamalar yapılır.

Eşitlik (28) ve (29) da Ek3 tablo 1 den değerler konularak, basınç

$$= 0,93248 + \frac{13,65185}{2}$$

$$= 7,758405 \quad [bar] \text{ elde edilir.}$$

$$T_{20} = \frac{\frac{(T_{201} + T_{202})}{2} + T_{203}}{2} \quad (26)$$

Sensörlerden ölçülen veriler için düzeltmeler hesaba katıldığında şu sonuçlar elde edilir.

$$T_{201} = T_{201-m} + \text{korr}_{T 201} = 7,4874 + 0,0000 = 7,4874 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$T_{202} = T_{202-m} + \text{korr}_{T 202} = 7,4870 + 0,0000 = 7,4870 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$T_{203} = T_{203-m} + \text{korr}_{T 203} = 7,4861 + 0,0000 = 7,4861 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

Görüleceği üzere burada düzeltmeler sıfır alınmıştır. Bu sonuçlar eşitlik (26) da yerine koyulursa ;

$$T_{20} = \frac{\frac{(7,4874 + 7,4870)}{2} + 7,4861}{2}$$

$$= 7,48603 \text{ [}^{\circ}\text{C]} \text{ bulunur.}$$

Hesaplanan bu sıcaklık basınç değerlerine göre, eş sıcaklık faktörü \bar{a} ve özgül ısı c_p aşağıdaki gibi seçilir.

$$\bar{a} = 0,984358 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$c_p = 4195,877 \text{ [J/kg/K]}$$

Yükseklik ve Hız:

Üst akış kısmındaki genişleme kabı kabındaki v_{11} hızı çok düşük olduğundan ölçüm değerlendirmelerinde dikkate alınmamıştır. Ek 3 Tablo 1' de verilen A_1 ve A_2 kesitlerinde ki suyun hızını bulmak için suyun debisi, eşitlik (49) ve (50) deki gibi kesitlere bölünür. Kesitlerin yeri Şekil 1.7'de termodinamik metotla türbin verimi ölçümü prensip şemasında gösterilmektedir.

$$v_1 = \frac{Q}{A_1}$$

$$v_{20} = \frac{Q}{A_2} \text{ (toplam kuyruk suyu akışı)}$$

$$z_{20} = z_{20\text{ref}} + p_{z20} = 691,40 + 0,513 = 691,913 \text{ [m]}$$

$$A_1 = 16,98 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_2 = 42,16 \text{ [m}^2\text{]}$$

ve hızlar,

$$v_1 = \frac{124,704}{16,98} = 7,3442 \quad [\text{m/s}]$$

$$v_{20} = \frac{124,704}{42,16} = 2,9579 \quad [\text{m/s}] \text{ olarak bulunur.}$$

Özgül mekanik enerji için düzeltme yapılmamıştır. $\delta_{em} = 0$

Bu değerler eşitlik (25) de yerine konulduğunda Özgül Mekanik Enerji:

$$e_m = \bar{a} \cdot (p_{11} - p_{20}) + c_p \cdot (T_{11} - T_{20}) + \frac{v_{11}^2 - v_{20}^2}{2} + g \cdot (z_{11} - z_{20}) + e_x \quad (25)$$

$$e_m = 0,984358 \cdot 10^{-3} \cdot (13,65185 \cdot 105 - 0) + 4195,877 \cdot (7,4854 - 7,48665) \\ + \frac{(0 - 2,9579^2)}{2} + 9,7983 \cdot (692,65 - 691,913) + 0$$

Gibi olur ve Özgül mekanik enerji

$$e_m = 1341,433 \quad [J/kg]$$

olarak bulunur.

A.2. Özgül Hidrolik Enerji Değerlendirmesi:

Özgül hidrolik enerji değerlendirme eşitlik (20) kullanılarak yapılır.

Hidrolik enerji için basınç terimi eşitlik (51) ile hesaplanır,

$$p_1 = p_{1m} + \frac{g \cdot (z_{1m} - z_1)}{\bar{v}} \quad (51)$$

$$p = p_{atm} + \frac{p_1 + p_2}{2}$$

$$= 0,93248 + 14,154 \quad \text{ve}$$

= 8,18948 [bar] olarak bulunur

Etkin sıcaklık T_1 , probdaki su genleştiği için ölçülen sıcaklık T_{11} den daha düşüktür. Ancak burada yaklaşık eşit alınmıştır.

$$T = T_1 \approx T_{11} = 7,4854^\circ C$$

$$\bar{v} = 0,999735 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$\begin{aligned} p_1 &= p_{1m} + \frac{g \cdot (z_{1m} - z_1)}{\bar{v}} \\ &= 13,952 + \frac{9,7983 \cdot (695,23 - 689,50)}{0,999735} \cdot 10^{-5} \\ &= 14,5136 \text{ [bar]} \end{aligned}$$

$$p = p_{atm} + \frac{p_1 + p_2}{2} \quad \text{ve} \quad T = T_1 \quad \text{idi}$$

$$T_1 = T_{11} - \frac{\bar{a} \cdot (p_1 - p_{11})}{c_p}$$

Aşağıdaki sıcaklık ve basınç değerlerine göre \bar{a} ve c_p değerleri bulunmuştur.

$$p = p_{atm} + \frac{(p_1 + p_{11})}{2} = 0,93248 + \frac{14,5136 + 13,652}{2} \text{ [bar]} \quad \text{ve sıcaklık tablo 4 den}$$

$$T \approx T_{11} = 7,4854^\circ C$$

$$\bar{a} = 0,983368 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^3/\text{kg]}$$

$$c_p = 4195,875 \text{ [J/kg/K]}$$

$$\begin{aligned}
T &= T_{11} - \frac{\bar{a} \cdot (p_1 - p_{11})}{c_p} \\
&= 7,4854 - \frac{0,983368 \cdot 10^{-3} \cdot (14,15136 - 13,652) \cdot 10^5}{4195,875} \\
&= 7,4736967^\circ C
\end{aligned}$$

ile

$$p = p_{atm} + \frac{p_1 + p_2}{2} = 0,93248 + \frac{14,514 + 0}{2}$$

$$p = 8,18948 \text{ [bar] ve}$$

$T = T_1 = 7,4736967^\circ C$ bu değerlere göre suyun özgül hacmi:

$$\bar{v} = 0,999734 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^3 / \text{kg]} \text{ olarak bulunur.}$$

Giriş ve çıkış hızları: eşitlik (50) ve (51) den

$$\begin{aligned}
v_1 &= \frac{Q}{A_1} = \frac{124,704}{16,98} \\
&= 7,3442 \text{ [m/s]}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
v_2 &= \frac{Q}{A_2} = \frac{124,704}{42,16} \\
&= 2,9579 \text{ [m/s]}
\end{aligned}$$

Bu değerler (20) eşitliğinde yerine koyulursa özgül hidrolik enerji aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned}
e_h &= 0,999734 \cdot 10^{-3} \cdot 14,5136 \cdot 10^5 + \frac{7,3442^2 - 2,9579^2}{2} + 9,7983 \cdot (689,5 - 691,913) \\
&= 1449,9247 \text{ [J / kg]}
\end{aligned}$$

Buna göre düşü dönüşürmesi yapılırsa net düşü;

$$H = \frac{e_h}{g} = \frac{1449,9247}{9,7983}$$

$$= 147,977 \text{ m olarak elde edilir.}$$

A.3. Türbin Veriminin Bulunması

Türbin verimi eşitlik (30)'dan e_m için düzeltme faktörü ve dış kayıplar sıfır kabul edilerek

$$\eta = \frac{e_m + \delta_{em} + e_x}{e_h} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$\eta = \frac{1341,433}{1449,9247} \cdot 100 = \%92,517$$

Türbin Çıkışının Gücünün Saptanması

Üreticinin verdiği generatör verimi ve dış kayıplara göre hesaplanan çıkış gücü eşitlik (31) den şöyle hesaplanır.

$$\eta_G = 98,51\%$$

$$P_v = 232kW$$

$$P = \frac{P_G}{\eta_G} + P_v = \frac{164,578 \cdot 100}{98,51} + 232 \cdot 10^{-3}$$

$$=167,299 \text{ [MW]}$$

Türbin Debisinin Saptanması

Türbin debisi eşitlik (32) ile hesaplanır.

$$Q = \frac{P_{Tu} \cdot \bar{v}}{g \cdot H \cdot \eta}$$

$$Q = \frac{167,299 \cdot 10^6 \cdot 0,999734 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{9,77983 \cdot 147,997 \cdot 92,517}$$

$$=124,667 \text{ m}^3/\text{s}$$

Daha önce hız hesaplamasında yaptığımızın kabul burada doğrulanmış oldu

Net Düşüye Dönüştürme:

$$Q = Q \left(\frac{H_R}{H} \right)^{1/2}$$

$$= 124,667 \cdot \left(\frac{145}{147,977} \right)^{1/2}$$

$$= 123,398 \text{ m}^3/\text{s} \text{ bulunur.}$$

$$P_R = P \cdot \left(\frac{H_R}{H} \right)^{3/2}$$

$$= 167,299 \cdot \left(\frac{145}{147,977} \right)^{3/2}$$

böylece net düşüdeki güç,

$$P_R = 162,276 \text{ MW} \text{ bulunur.}$$

B- Ölçüm Belirsizlikleri İçin Örnek Değerlendirme

Bu örnek değerlendirme ölçüm sonuçları EK 2 tablo 2'de verilen ölçme grubu Keban HES Ünite 5 için yapılan M5(A) 24 numaralı ölçüm noktası için yapılmıştır. Sistematik sapmalar için IEC 60041 standardı EK A bölümünde yer alan tablolardan faydalanılmıştır.[referans 4 , shf 319]

Ek 3 Tablo 2. KEBAN HES Ünite 5 için yapılan ölçme grubu M5(A) 24 numaralı ölçüm noktası belirsizliği için veriler tablosu

Veri	Değer	Birim	Açıklama
g	9,7983	[m/s ²]	
p ₁	14,514	[bar]	S _{p1} = ± 0,0258 bar
p ₁₁	13,652	[bar]	S _{p11} = ± 0,0156 bar
p ₂	0	[bar]	
p ₂₁	0	[bar]	
p _{z20}	0,513	[mWC]	S _{pz20} = ± 0,0633 mWC
T ₁₁	7,4854	[°C]	S _{T11} = ± 0,0023 °C
T ₂₀₁	7,4874	[°C]	S _{T201} = ± 0,0027 °C
T ₂₀₂	7,4870	[°C]	S _{T202} = ± 0,0026 °C
T ₂₀₃	7,4861	[°C]	S _{T203} = ± 0,0041 °C
\bar{a}	0,984358 * 10 ⁻³	[m ³ /kg] (mekanik değerlendirilmeden)	
\bar{v}	0,999734 * 10 ⁻³	[m ³ /kg] (hidrolik değerlendirilmeden)	
c _p	4195,877	[J/kg] (mekanik değerlendirilmeden)	
e _h	1449,925	[J/kg]	
e _m	1341,433	[J/kg]	
delta_e _{m_ht}	0	[J/kg]	
delta_e _{m_gr}	0	[J/kg]	
Q	124,704	[m ³ /s]	
A1	16,98	[m ²]	
A2	42,16	[m ²]	

B.1.) Özgül Mekanik Enerjinin Değerlendirilmesi İçin Belirsizlik

Genel olarak özgül mekanik enerjinin değerlendirilmesi için belirsizlik hesaplaması eşitlik (38) ile yapılır

$$e_{e_m} = \sqrt{e_p^2 + e_T^2 + e_v^2 + e_z^2 + e_{ex}^2}$$

Şimdi sırasıyla bu ifadede kullanacağımız değerleri Ek 2 tablo 2'deki verileri kullanarak hesaplayalım.

1) Basıncıdaki belirsizlik

$$e_p = \sqrt{e_{p11}^2 + e_{p20}^2 + [(p_{11} - p_{20}) \cdot e_{\bar{a}}]^2}$$

$$e_{p11} = \pm \sqrt{e_{m_p11}^2 + e_{s_p11}^2}$$

p_{11} (load cell) basınç ölçümü için belirsizlik:

$$f_{p11} = \pm 0,1 \text{ [%]} \text{ ve } p_{\max} = 40 \text{ [bar]}$$

$$e_{m_p11} = \pm (f_{p11} \cdot p_{\max}) \cdot \bar{v}$$

$$\begin{aligned} e_{m_p11} &= \pm \left(\frac{0,1}{100} \cdot 40 \cdot 10^5 \right) \cdot 0,999734 \cdot 10^{-3} \\ &= \pm 3,999 \text{ [J/kg]} \end{aligned}$$

p_{11} (load cell) basınç ölçümü için standart sapmanın açıklaması:

$$e_{s_p11} = \pm s_{p11} \cdot \bar{v}$$

$$\begin{aligned} e_{s_p11} &= \pm 0,0156 \cdot 10^5 \cdot 0,999734 \cdot 10^{-3} \\ &= \pm 1,5595 \text{ [J/kg]} \end{aligned}$$

$$e_{p11} = \pm \sqrt{e_{m_p11}^2 + e_{s_p11}^2}$$

$$= \pm \sqrt{3,999^2 + 1,5595^2}$$

$$= \pm 4,2923 \text{ J / kg} \quad \text{[J/kg]}$$

$p_{20}=0$ olarak alındığından $e_{p20} = 0$ olacaktır.

$$f_{\bar{a}_{tab}} = \pm 0,2 \quad \text{[%]} \text{ ve } e_{\bar{a}_{temp}} = \pm 1,85 \cdot 10^{-6} \quad \text{[m}^3 \text{/kg]}$$

Termodinamik terim \bar{a} 'nın değerlendirilmesi için belirsizlik:

$$\begin{aligned}
e_{\bar{a}} &= \sqrt{e_{\bar{a}_{tab}}^2 + e_{\bar{a}_{temp}}^2} \\
&= \sqrt{(f_{\bar{a}_{temp}} \cdot \bar{a}) + e_{\bar{a}_{temp}}^2} \\
e_{\bar{a}} &= 10^{-3} * \sqrt{\left(\frac{0,2}{100} \cdot 0,999734\right)^2 + 0,00185^2} \\
&= \pm 0,00272 \cdot 10^{-3} \quad [m^3 / kg]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
e_p &= \sqrt{e_{p11} + e_{p20} + [(p_{11} - p_{20}) \cdot e_{\bar{a}}]^2} \\
e_p &= \pm \sqrt{4,2923 + 0 + [(13,652 \cdot 10^5 - 0) \cdot 0,0072 \cdot 10^{-3}]^2} \\
&= \pm 5,6756 \quad [J/kg] \quad \text{olarak bulunur}
\end{aligned}$$

2) Sıcaklık farkındaki belirsizlik

$$e_T = \sqrt{e_{\Delta T} + e_T^2 + [(T_{11} - T_{20}) \cdot e_{cp}]^2 + e_{UW}^2 + e_{OW}^2}$$

Alt akış ve üst akış arasındaki basınç farkının değerlendirilmesine ilişkin belirsizlik:

$$e_{e_{\Delta T}} = \mp 0,001 \quad [K] \quad \text{ve} \quad c_p = 4195,77 \quad [J/kg/^\circ K]$$

değerleri kullanılarak

$$e_{\Delta T} = 4195,337 \cdot 0,001$$

$$= 4,19577 \quad [J/kg]$$

bulunur.

Sıcaklıkların ölçümü için standart sapmanın hesaplanması:

$$S_{T20} = \frac{\frac{0,0027 + 0,0026}{2} + 0,0041}{2}$$

$$= \pm 0,003375 \text{ [K]}$$

$$\begin{aligned} e_T &= \pm c_p \sqrt{S_{T11}^2 + S_{T20}^2} \\ &= \pm 4195,877 \cdot \sqrt{0,0023^2 + 0,003375^2} \\ &= \pm 17,1368 \quad \text{[J/kg]} \end{aligned}$$

$$f_{cp_{iab}} = \pm 0,5 \quad \text{ve} \quad e_{cp_{temp}} = 0,5 \text{ [J/kg/}^\circ\text{K]}$$

Termodinamik terim c_p nin değerlendirmesi için belirsizlik.

$$\begin{aligned} e_{cp} &= \sqrt{e_{cp_{iab}}^2 + e_{cp_{temp}}^2} = \sqrt{(f_{cp_{iab}} \cdot c_p)^2 + e_{cp_{temp}}^2} \\ e_{cp} &= \sqrt{\left(\frac{0,5}{100} \cdot 4195,87\right)^2 + 0,5^2} = \pm 20,9853 \text{ J / kg / K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{20} &= \frac{7,4874 + 7,4870 + 7,4861}{3} \\ &= 7,4868^0 \text{ C} \end{aligned}$$

$$(T_{11} - T_{20}) \cdot e_{cp} = \pm (7,4854 - 7,4868) \cdot 20,9853$$

$$= \pm 0,03 \text{ [J/kg]}$$

Enerji dağılımı için belirsizlik aşağıdaki değerler dikkate alınarak hesaplanabilir.

Üst akış ölçüm kısmı: e_m den % 0,2

Alt akış ölçüm kısmı e_m den % 0,6

$$\begin{aligned} e_{OW} &= e_m \cdot e_{e_{OW}} \\ &= 1341,433 \cdot \frac{0,2}{100} = \pm 2,6828 \text{ J / kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{UW} &= e_m \cdot e_{e_{UW}} \\ &= 1341,433 \cdot \frac{0,6}{100} = \pm 8,0486 \text{ J / kg} \end{aligned}$$

Buradan sıcaklıklar için belirsizlik e_T :

$$e_T = \sqrt{e_{\Delta T}^2 + e_T^2 + [(T_{11} - T_{20})e_{cp}]^2 + e_{UW}^2 + e_{OW}^2}$$

$$= \sqrt{4,1958^2 + 17,1368^2 + 0,03^2 + 2,6828^2 + 8,0486^2}$$

$$= 19,5769 \quad [\text{J/kg}]$$

olarak bulunur.

3) Kinetik Enerji Belirsizliği

$$e_v = \sqrt{e_{v11}^2 + e_{v21}^2}$$

Ölçüm probunun içindeki hız v_{11} çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Bunun sonucu olarak toplam su akışının sebep olduğu kinetik enerji belirsizliği:

$$f_Q = \pm 1,5 \quad [\%]$$

$$A_2 = 42,16 \quad [\text{m}^2]$$

$$v_{21} = \frac{Q}{A_2} = \frac{124,704}{42,16}$$

$$= 2,95787 \quad [\text{m/s}]$$

$$e_v = f_Q \cdot \frac{v_{21}^2}{2}$$

$$= \pm \frac{1,5}{100} \cdot \frac{2,95787^2}{2}$$

$$= \pm 0,066 \quad [\text{J/Kg}] \text{ bulunur.}$$

4) Potansiyel Enerji Belirsizliği

$$e_z = \sqrt{e_{zg11}^2 + e_{zg20}^2 + e_{e-p20}^2 + e_{s-p20}^2}$$

bağıntısı ile aşağıdaki değerler alınarak.

$$e_{z11} = e_{z1} = \pm 0,01 \text{ m ve } e_{z20} = \pm 0,01 \text{ m}$$

$$e_{zg11} = \pm (9,7983 \cdot 0,01)$$

$$= \pm 0,097983 \text{ J/kg}$$

$$e_{zg20} = \pm (9,7983 \cdot 0,01)$$

$$= \pm 0,097983 \text{ J/kg}$$

Tek basınç sensörü ile (p_{z20}) alt akış serbest çıkış suyu seviyesi ölçümünün belirsizliği

$$f_{pz20} = \pm 0,3\% \quad \text{ve} \quad p_{\max} = 0,25 \text{ bar} [4, \text{ek A, shf 319}]$$

$$e_{e_{pz20}} = \pm (p_{\max} \cdot f_{pz20}) \cdot \bar{v}$$

$$e_{e_{pz20}} = \pm \left(0,25 \cdot 10^5 \cdot \frac{0,3}{100} \right) \cdot 0,999287 \cdot 10^{-3}$$

$$= \pm 0,075 \text{ [J/kg]}$$

$$s_{pz20} = 0,0633 \text{ mWC}$$

$$= \pm 0,00646 \text{ [bar]}$$

değerleri kullanılarak alçak basınç tarafı basınç ölçümü (p_{20}) için standart sapma;

$$e_{e_{pz20}} = \pm s_{pz20} \cdot \bar{v}$$

$$e_{e_{pz20}} = \pm 0,00646 \cdot 10^5 \cdot 0,999734 \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,646 \text{ [J/kg] bulunur.}$$

$$e_z = \sqrt{e_{zg11}^2 + e_{zg20}^2 + e_{e_{pz20}}^2 + e_{s_{pz20}}^2}$$

$$= \sqrt{0,97983^2 + 0,097983^2 + 0,075^2 + 0,646^2}$$

$$= \pm 0,664 \text{ [J/kg] bulunur}$$

5) Düzeltme Faktörünün Belirsizliği

$$e_{ex} = \frac{0,1}{100} \cdot 1341433$$

$$= 1,341J / kg$$

Mekanik enerji ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesindeki belirsizlik.:

$$e_{e_m} = \sqrt{e_p^2 + e_T^2 + e_v^2 + e_z^2 + e_{ex}^2}$$

$$= \sqrt{5,6756^2 + 19,5769^2 + 0,664^2 + 1,341^2}$$

$$= 20,4380J / kg$$

$$f_{e_m} = \frac{e_{e_m}}{e_m}$$

$$= \frac{20,4380}{1341,433} \cdot 100$$

$$= \pm \%1,523$$

Bu ölçümde özel bir düzeltme yapılmamıştır. Belirsizliğin değerlendirilmesi ve sıcaklık dağılımının olası etkileri için özgül mekanik enerjide % 0,1 gibi bir düzeltme terimi kullanılmıştır.

B.2. Hidrolik Enerjinin Değerlendirilmesi İçin Belirsizlik

$$f_{e_h} = \frac{e_{e_h}}{e_h}$$

$$e_{e_h} = \pm \sqrt{e_p^2 + e_v^2 + e_z^2}$$

1) Basınç belirsizliği

$$e_p = \pm \sqrt{e_{m-p1}^2 + e_{s-p1}^2 + e_{m-p2}^2 + e_{s-p2}^2}$$

p_1 basıncının ölçümü için belirsizlik sonucu.

$$f_{p1} = \pm 0.1$$

$p_{\max} = 40$ bar alınarak

$$e_{m_p1} = \pm(f_{p1} \cdot p_{\max}) \cdot \bar{v}$$

$$e_{m_p1} = \pm \left(\frac{0,1}{100} + 40 \cdot 10^5 \right) \cdot 0,999287 \cdot 10^{-3}$$

= $\pm 3,997$ [J/kg] bulunur.

2) Kinetik Enerji Belirsizliği

$$e_v = \pm \sqrt{e_{v1}^2 + e_{v2}^2}$$

Kinetik enerji belirsizliği için.

$$f_Q = \pm 1,5\%$$

kullanılarak.

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{124,704}{16,97}$$

$$= 7,3442 \text{ [m/s]}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{124,704}{42,16}$$

$$= 2,9578 \text{ [m/s]}$$

1. taraftaki (giriş) hız için belirsizlik:

$$e_{v1} = \pm f_Q \cdot \frac{v_1^2}{2}$$

$$= \pm \frac{1,5}{100} \cdot \frac{7,3442^2}{2}$$

$$= \pm 0,4045 \text{ [J/kg]}$$

bulunur ve 2. taraftaki (çıkış) hız için belirsizlik:

$$\begin{aligned}
 e_{v2} &= \pm f_Q \cdot \frac{v_2^2}{2} \\
 &= \pm \frac{1,5}{100} \cdot \frac{2,9578^2}{2} \\
 &= \pm 0,06561 \text{ [J/kg]}
 \end{aligned}$$

Hidrolik enerji için toplam kinetik enerji belirsizliği belirsizlik:

$$\begin{aligned}
 e_v &= \pm \sqrt{e_{v1}^2 + e_{v2}^2} \\
 &= \pm \sqrt{0,4045^2 + 0,06561^2} \\
 &= \pm 0,077 \text{ [J/kg]} \text{ olarak bulunur.}
 \end{aligned}$$

4) Potansiyel Enerji Belirsizliği

$$e_{z1} = \pm 0,01 \text{ m} \quad \text{ve} \quad e_{z2} = \pm 0,01 \text{ m}$$

alınarak işlem yapılırsa,

$$\begin{aligned}
 e_{zg1} &= \pm (g \cdot e_{z1}) \\
 &= \pm 9,7983 \cdot 0,01 \\
 &= \pm 0,09798 \text{ [J/kg]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_{zg2} &= \pm (g \cdot e_{z2}) \\
 &= \pm 9,7983 \cdot 0,01 \\
 &= \pm 0,09798 \text{ [J/kg]}
 \end{aligned}$$

buradan toplam yükseklik belirsizliği e_z :

$$e_z = \pm \sqrt{e_{zg1}^2 + e_{zg2}^2}$$

$$= \pm \sqrt{0,09798^2 + 0,09798^2}$$

$$= \pm 0,1386 \text{ [J/kg] bulunur.}$$

Bu sonuçlardan hidrolik enerjinin değerlendirilmesine ilişkin belirsizlik:

$$e_{e_h} = \pm \sqrt{e_p^2 + e_v^2 + e_z^2}$$

$$e_{e_h} = \pm \sqrt{4,7568^2 + 0,077^2 + 0,1386^2}$$

$= \pm 4,7595 \text{ [J/kg]}$ bulunur. Buradan hidrolik enerji için göreceli sistematik belirsizlik

$$f_{e_h} = \pm \frac{e_{e_h}}{e_h}$$

$$f_{e_h} = \pm \frac{4,7595}{1449,925} \cdot 100$$

$$= \pm \%0,3283 \text{ bulunur.}$$

C) Verimlilik değerlendirmesi için belirsizlik

Ünite 5(A) 24 nolu ölçüm noktasına göre ölçülen verim için toplam belirsizlik,

$$f_{\eta} = \sqrt{f_{e_h}^2 + f_{e_m}^2}$$

$$f_{\eta} = \sqrt{0,3283^2 + 1,5236^2}$$

$$f_{\eta} = \pm \%1,56$$

Ünite 5(A) ölçümüne ait 24 nolu ölçüm noktası için temel ölçüm belirsizliği yaklaşık $\pm \%1,56$ olarak bulunmuş olur.

EK 4. Eşsıcaklık ve Özgül Isı Tabloları

Ek 4 Tablo 1. Suyun Eşsıcaklık Faktörü \bar{a} ($10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)

Bu değerlerin hesaplanması için *Herbst & Rögener* eşitlikleri kullanılmıştır. [4 shf,387]
(Ara değerler lineer enterpolasyon yapılarak bulunabilir.)

Temperature ϑ (°C)	Absolute pressure (10^5 Pa)							
	1	10	20	30	40	50	60	70
0	1,0184	1,0169	1,0153	1,0137	1,0121	1,0105	1,0089	1,0074
1	1,0137	1,0123	1,0107	1,0092	1,0076	1,0061	1,0046	1,0030
2	1,0091	1,0077	1,0062	1,0047	1,0032	1,0017	1,0003	0,9988
3	1,0046	1,0033	1,0018	1,0003	0,9989	0,9975	0,9960	0,9946
4	1,0002	0,9989	0,9975	0,9961	0,9947	0,9933	0,9919	0,9905
5	0,9958	0,9946	0,9932	0,9918	0,9905	0,9891	0,9878	0,9865
6	0,9915	0,9903	0,9890	0,9877	0,9864	0,9851	0,9838	0,9825
7	0,9874	0,9862	0,9849	0,9837	0,9824	0,9811	0,9799	0,9786
8	0,9833	0,9821	0,9809	0,9797	0,9785	0,9772	0,9760	0,9748
9	0,9792	0,9782	0,9770	0,9758	0,9746	0,9734	0,9723	0,9711
10	0,9753	0,9743	0,9731	0,9720	0,9708	0,9697	0,9686	0,9674
11	0,9715	0,9705	0,9694	0,9683	0,9671	0,9660	0,9650	0,9639
12	0,9677	0,9668	0,9657	0,9646	0,9635	0,9625	0,9614	0,9604
13	0,9641	0,9631	0,9621	0,9610	0,9600	0,9590	0,9580	0,9569
14	0,9605	0,9596	0,9586	0,9576	0,9566	0,9556	0,9546	0,9536
15	0,9570	0,9561	0,9552	0,9542	0,9532	0,9522	0,9513	0,9503
16	0,9536	0,9528	0,9518	0,9509	0,9499	0,9490	0,9481	0,9471
17	0,9503	0,9495	0,9486	0,9477	0,9467	0,9458	0,9449	0,9440
18	0,9471	0,9463	0,9454	0,9445	0,9436	0,9428	0,9419	0,9410
19	0,9440	0,9432	0,9424	0,9415	0,9406	0,9398	0,9389	0,9380
20	0,9410	0,9402	0,9394	0,9385	0,9377	0,9368	0,9360	0,9352
21	0,9380	0,9373	0,9365	0,9356	0,9348	0,9340	0,9332	0,9324
22	0,9351	0,9344	0,9336	0,9328	0,9320	0,9312	0,9304	0,9296
23	0,9322	0,9315	0,9307	0,9299	0,9291	0,9283	0,9276	0,9268
24	0,9293	0,9286	0,9278	0,9271	0,9263	0,9255	0,9248	0,9240
25	0,9264	0,9257	0,9250	0,9242	0,9235	0,9228	0,9220	0,9213
26	0,9235	0,9229	0,9222	0,9215	0,9207	0,9200	0,9193	0,9186
27	0,9207	0,9201	0,9194	0,9187	0,9180	0,9173	0,9166	0,9159
28	0,9179	0,9173	0,9166	0,9159	0,9152	0,9146	0,9139	0,9132
29	0,9151	0,9145	0,9139	0,9132	0,9125	0,9119	0,9112	0,9106
30	0,9124	0,9118	0,9111	0,9105	0,9099	0,9092	0,9086	0,9079
31	0,9096	0,9091	0,9084	0,9078	0,9072	0,9066	0,9059	0,9053
32	0,9069	0,9064	0,9058	0,9052	0,9045	0,9039	0,9033	0,9027
33	0,9042	0,9037	0,9031	0,9025	0,9019	0,9013	0,9007	0,9002
34	0,9016	0,9010	0,9005	0,8999	0,8993	0,8987	0,8982	0,8976
35	0,8989	0,8984	0,8979	0,8973	0,8967	0,8962	0,8956	0,8951
36	0,8963	0,8958	0,8953	0,8947	0,8942	0,8937	0,8931	0,8926
37	0,8937	0,8932	0,8927	0,8922	0,8917	0,8911	0,8906	0,8901
38	0,8911	0,8907	0,8902	0,8897	0,8892	0,8887	0,8881	0,8876
39	0,8886	0,8881	0,8877	0,8872	0,8867	0,8862	0,8857	0,8852
40	0,8861	0,8856	0,8852	0,8847	0,8842	0,8837	0,8833	0,8828

Ek 4 Tablo 1. Suyun Eşsıcaklık Faktörü \bar{a} ($10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) (devamı)

Temperature ϑ (°C)	Absolute pressure (10^5 Pa)							
	80	90	100	110	120	130	140	150
0	1,0058	1,0043	1,0027	1,0012	0,9997	0,9982	0,9968	0,9953
1	1,0015	1,0001	0,9986	0,9971	0,9956	0,9942	0,9928	0,9913
2	0,9973	0,9959	0,9945	0,9930	0,9916	0,9902	0,9888	0,9875
3	0,9932	0,9918	0,9904	0,9891	0,9877	0,9863	0,9850	0,9836
4	0,9892	0,9878	0,9865	0,9851	0,9838	0,9825	0,9812	0,9799
5	0,9852	0,9839	0,9826	0,9813	0,9800	0,9787	0,9774	0,9762
6	0,9813	0,9800	0,9787	0,9775	0,9762	0,9750	0,9738	0,9725
7	0,9774	0,9762	0,9750	0,9738	0,9725	0,9713	0,9702	0,9690
8	0,9736	0,9725	0,9713	0,9701	0,9689	0,9678	0,9666	0,9655
9	0,9699	0,9688	0,9677	0,9665	0,9654	0,9643	0,9631	0,9620
10	0,9663	0,9652	0,9641	0,9630	0,9619	0,9608	0,9597	0,9586
11	0,9628	0,9617	0,9606	0,9596	0,9585	0,9574	0,9564	0,9553
12	0,9593	0,9583	0,9572	0,9562	0,9552	0,9541	0,9531	0,9521
13	0,9559	0,9549	0,9539	0,9529	0,9519	0,9509	0,9499	0,9489
14	0,9526	0,9516	0,9506	0,9497	0,9487	0,9477	0,9467	0,9458
15	0,9494	0,9484	0,9474	0,9465	0,9456	0,9446	0,9437	0,9427
16	0,9462	0,9453	0,9443	0,9434	0,9425	0,9416	0,9407	0,9398
17	0,9431	0,9422	0,9413	0,9404	0,9395	0,9386	0,9377	0,9369
18	0,9401	0,9392	0,9384	0,9375	0,9366	0,9357	0,9349	0,9340
19	0,9372	0,9363	0,9355	0,9346	0,9338	0,9329	0,9321	0,9313
20	0,9343	0,9335	0,9327	0,9318	0,9310	0,9302	0,9294	0,9286
21	0,9315	0,9307	0,9299	0,9291	0,9283	0,9275	0,9267	0,9259
22	0,9288	0,9280	0,9272	0,9264	0,9256	0,9248	0,9240	0,9233
23	0,9260	0,9252	0,9245	0,9237	0,9229	0,9222	0,9214	0,9206
24	0,9233	0,9225	0,9218	0,9210	0,9203	0,9195	0,9188	0,9180
25	0,9206	0,9198	0,9191	0,9184	0,9176	0,9169	0,9162	0,9155
26	0,9179	0,9171	0,9164	0,9157	0,9150	0,9143	0,9136	0,9129
27	0,9152	0,9145	0,9138	0,9131	0,9124	0,9117	0,9110	0,9103
28	0,9125	0,9119	0,9112	0,9105	0,9098	0,9092	0,9085	0,9078
29	0,9099	0,9092	0,9086	0,9079	0,9073	0,9066	0,9060	0,9053
30	0,9073	0,9066	0,9060	0,9054	0,9047	0,9041	0,9035	0,9028
31	0,9047	0,9041	0,9034	0,9028	0,9022	0,9016	0,9010	0,9004
32	0,9021	0,9015	0,9009	0,9003	0,8997	0,8991	0,8985	0,8979
33	0,8996	0,8990	0,8984	0,8978	0,8972	0,8966	0,8961	0,8955
34	0,8970	0,8965	0,8959	0,8953	0,8948	0,8942	0,8936	0,8931
35	0,8945	0,8940	0,8934	0,8929	0,8923	0,8918	0,8912	0,8907
36	0,8920	0,8915	0,8910	0,8904	0,8899	0,8894	0,8888	0,8883
37	0,8896	0,8891	0,8885	0,8880	0,8875	0,8870	0,8865	0,8859
38	0,8871	0,8866	0,8861	0,8856	0,8851	0,8846	0,8841	0,8836
39	0,8847	0,8842	0,8837	0,8832	0,8828	0,8823	0,8818	0,8813
40	0,8823	0,8818	0,8814	0,8809	0,8804	0,8800	0,8795	0,8790

Ek 4 Tablo 2. Suyun Özgül Isı Kapasitesi c_p ($J\ kg^{-1}\cdot K^{-1}$)

Bu değerlerin hesaplanması için Herbst & Rögner eşitlikleri kullanılmıştır [4 shf,387].
(Ara değerler lineer enterpolasyon yapılarak bulunabilir.)

Temperature ϑ (°C)	Absolute pressure (10^5 Pa)							
	1	10	20	30	40	50	60	70
0	4207	4203	4198	4193	4189	4184	4180	4176
1	4206	4202	4197	4193	4188	4184	4180	4175
2	4205	4201	4197	4192	4188	4183	4179	4175
3	4204	4200	4196	4191	4187	4183	4179	4174
4	4203	4199	4195	4191	4186	4182	4178	4174
5	4202	4198	4194	4190	4186	4182	4177	4173
6	4201	4197	4193	4189	4185	4181	4177	4173
7	4200	4196	4192	4188	4184	4180	4176	4172
8	4199	4195	4191	4187	4183	4179	4175	4172
9	4197	4194	4190	4186	4182	4178	4175	4171
10	4196	4193	4189	4185	4181	4178	4174	4170
11	4195	4191	4188	4184	4180	4177	4173	4170
12	4194	4190	4187	4183	4179	4176	4172	4169
13	4192	4189	4185	4182	4178	4175	4171	4168
14	4191	4188	4184	4181	4177	4174	4170	4167
15	4189	4186	4183	4179	4176	4173	4169	4166
16	4188	4185	4181	4178	4175	4172	4168	4165
17	4186	4183	4180	4177	4174	4170	4167	4164
18	4185	4182	4179	4175	4172	4169	4166	4163
19	4183	4180	4177	4174	4171	4168	4165	4162
20	4181	4179	4176	4173	4170	4167	4164	4161
21	4181	4179	4176	4173	4170	4167	4164	4161
22	4182	4179	4176	4173	4170	4167	4165	4162
23	4181	4179	4176	4173	4170	4168	4165	4162
24	4182	4179	4176	4173	4171	4168	4165	4162
25	4182	4179	4176	4173	4171	4168	4165	4162
26	4182	4179	4176	4174	4171	4168	4165	4163
27	4182	4179	4176	4174	4171	4168	4165	4163
28	4182	4179	4176	4174	4171	4168	4166	4163
29	4182	4179	4176	4174	4171	4168	4166	4163
30	4182	4179	4176	4174	4171	4168	4166	4163
31	4182	4179	4176	4174	4171	4168	4166	4163
32	4181	4179	4176	4174	4171	4168	4166	4163
33	4181	4179	4176	4174	4171	4168	4166	4163
34	4182	4179	4176	4174	4171	4168	4166	4163
35	4181	4179	4176	4174	4171	4168	4166	4163
36	4181	4179	4176	4174	4171	4168	4166	4163
37	4181	4179	4176	4173	4171	4168	4166	4163
38	4181	4178	4176	4173	4171	4168	4166	4164
39	4181	4178	4176	4173	4171	4168	4166	4164
40	4181	4178	4176	4173	4171	4168	4166	4164

Ek 4 Tablo 2. Suyun Özgül Isı Kapasitesi c_p ($J\ kg^{-1}\cdot K^{-1}$) (Devamı)

Temperature ϑ (°C)	Absolute pressure (10^5 Pa)							
	80	90	100	110	120	130	140	150
0	4171	4167	4163	4159	4154	4150	4146	4142
1	4171	4167	4163	4158	4154	4150	4146	4142
2	4171	4167	4162	4158	4154	4150	4146	4143
3	4170	4166	4162	4158	4154	4150	4147	4143
4	4170	4166	4162	4158	4154	4150	4147	4143
5	4169	4166	4162	4158	4154	4150	4147	4143
6	4169	4165	4161	4158	4154	4150	4146	4143
7	4169	4165	4161	4157	4154	4150	4146	4143
8	4168	4164	4161	4157	4153	4150	4146	4143
9	4167	4164	4160	4157	4153	4150	4146	4143
10	4167	4163	4160	4156	4153	4149	4146	4142
11	4166	4163	4159	4156	4152	4149	4146	4142
12	4165	4162	4159	4155	4152	4149	4145	4142
13	4165	4161	4158	4155	4151	4148	4145	4142
14	4164	4161	4157	4154	4151	4148	4145	4142
15	4163	4160	4157	4154	4150	4147	4144	4141
16	4162	4159	4156	4153	4150	4147	4144	4141
17	4161	4158	4155	4152	4149	4146	4143	4141
18	4160	4157	4154	4152	4149	4146	4143	4140
19	4159	4157	4154	4151	4148	4145	4142	4140
20	4158	4156	4153	4150	4147	4145	4142	4139
21	4159	4156	4153	4150	4148	4145	4142	4140
22	4159	4156	4153	4151	4148	4145	4143	4140
23	4159	4157	4154	4151	4148	4146	4143	4140
24	4159	4157	4154	4151	4149	4146	4143	4141
25	4160	4157	4154	4152	4149	4146	4144	4141
26	4160	4157	4155	4152	4149	4147	4144	4142
27	4160	4158	4155	4152	4150	4147	4144	4142
28	4160	4158	4155	4152	4150	4147	4145	4142
29	4160	4158	4155	4153	4150	4147	4145	4142
30	4160	4158	4155	4153	4150	4148	4145	4143
31	4161	4158	4155	4153	4150	4148	4145	4143
32	4161	4158	4156	4153	4151	4148	4146	4143
33	4161	4158	4156	4153	4151	4148	4146	4143
34	4161	4158	4156	4153	4151	4148	4146	4144
35	4161	4159	4156	4154	4151	4149	4146	4144
36	4161	4159	4156	4154	4151	4149	4146	4144
37	4161	4159	4156	4154	4151	4149	4147	4144
38	4161	4159	4156	4154	4151	4149	4147	4144
39	4161	4159	4156	4154	4152	4149	4147	4145
40	4161	4159	4156	4154	4152	4149	4147	4145

ÖZGEÇMİŞ

Refik PALA; 1977 yılında İspir/Erzurum'da doğdu. İlk öğrenimini Oltu'da ve ortaöğrenimini Erzurum'da tamamladı. 1998 yılında Elektronik mühendisi unvanıyla Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik–Elektronik Bölümünden mezun oldu. 1999 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Elektronik Ana Bilimdalı'nda yüksek lisans programına başladı. 1998-2004 yıllarında Karakaya HES'de, 2004-2005 yıllarında İkizdere HES'de işletme ve bakım mühendisi olarak görev yaptı. 2005 yılında Elektrik Üretim A.Ş. Hidroelektrik Santraller Daire Başkanlığı'nda Etüt ve Rehabilitasyon bölümüne atandı. Halen aynı yerde Etüt Şefi olarak görev yapmaktadır. İngilizce bilen Refik PALA evli ve 1 çocuk babasıdır.