

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KEBAN VE KARAKAYA HES'DE ENERJİ VERİMİNİN İKLİM
PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK AKILLI SİSTEMLERLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Müh. Kenan İNALLI

101120101

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Programı: Enerji

Danışman: Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN

ELAZIĞ-2013

**KEBAN VE KARAKAYA HES'DE ENERJİ VERİMİNİN İKLİM
PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK AKILLI SİSTEMLERLE ANALİZİ**

Makina Müh. Kenan İNALLI

**Yüksek Lisans Tezi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN
TEMmuz-2013**

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KEBAN VE KARAKAYA HES'DE ENERJİ VERİMİNİN İKLİM
PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK AKILLI SİSTEMLERLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Müh. Kenan İNALLI

(101120101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.07.2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 02.07.2013

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Yaşar BİÇER (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Erdem IŞIK (T.Ü.)

TEMMUZ-2013

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, iklim şartlarına bağlı olarak barajda biriken su miktarı ve düşüşünün değişmesinden dolayı hidroelektrik santrallerdeki verim ve üretimin bölgedeki iklim şartlarından nasıl etkilendiği incelenmiştir. Oluşturulan Yapay Sinir Ağı modeli ile Karakaya ve Keban Hidroelektrik Santralinin üretim ve verimi yüksek bir hassasiyetle tahmin edilmiş olup, bu da elektrik enerjisi ihtiyacının arttığı günümüzde, bir sonraki yıllara ait taleplerin karşılanmasında yapılacak olan çalışmalara yardımcı olabilecektir. Ayrıca bu tezim ile ilgili “Karakaya hidroelektrik santralinde verim ve üretim parametrelerinin yapay sinir ağı ile tahmini” isimli makalem 2-4 Mayıs 2013 tarihleri arasında Dicle Üniversitesinde yapılan 2. Anadolu Enerji Sempozyumunda yayınlanmıştır.

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN’e, EÜAŞ Keban ve Karakaya HES’deki iş arkadaşlarıma ve özellikle yoğun doktora çalışmasında değerli zamanlarını bana ayıran Tunceli Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü hocalarından sayın Yrd. Doç. Dr. Erdem IŞIK’a ve bu aşamada bana sabır gösteren eşim ile çocuklarıma teşekkürlerimi sunarım

Kenan İNALLI

ELAZIĞ-2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	7
3. KEBAN VE KARAKAYA HES'DE ÜRETİM ANALİZİ	13
3.1. Genel Bilgiler	13
3.2. Hidrolik Türbinler	15
3.2.1. Yüksek Basınç (Reaksiyon) Türbinleri	16
3.2.2. Eş Basınç (Aksiyon) Türbinleri	18
3.3. Hidrolik Türbin Verimliliği	22
3.3.1. Verimliliği Etkileyen Parametreler	23
3.3.1.1. İç Kayıplar	23
3.3.1.2. Dış Kayıplar	26
3.3.1.3. Türbin Verim Dağ Eğrileri ve İşletme Verimliliği	27
3.4. Keban Hidroelektrik Santrali	29
3.5. Karakaya Hidroelektrik Santrali	33
4. AKILLI SİSTEMLER	37
4.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)	37
4.1.1. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri	38
4.1.2. Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları	39
4.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Avantajları ve Dezavantajları	40
4.1.4. Biyolojik Sinir Hücreleri	41
4.1.5. Yapay Sinir Hücresi	42
4.1.6. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri	45
4.1.7. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları	49
4.2. Uyarlamalı Bulanık Sinirsel Ağlar (UBSA)	52
4.2.1. UBSA Mimarisi	54
5. YAPAY SİNİR AĞI İLE MODELLEME	57
5.1. YSA Model Performans Kriterleri	60
5.2. YSA İle Keban HES'in Enerji Verim ve Üretim Tahmini	64
5.2.1. Keban HES'in Santral Parametrelerine Bağlı Olarak Verim ve Üretiminin YSA ile Tahmini	65
5.2.2. Keban HES'in Meteorolojik Parametrelerine Bağlı Olarak Verim ve Üretiminin YSA ile Tahmini	66
5.2.3. Keban HES'in Santral ve Meteorolojik Parametrelerine Bağlı Olarak Verim ve Üretiminin YSA ile Tahmini	67
5.3. YSA İle Karakaya HES'in Enerji Verim ve Üretim Tahmini	69

5.3.1. Karakaya HES'in Santral Parametrelerine Bağlı Olarak Verim ve Üretiminin YSA ile Tahmini	70
5.3.2. Karakaya HES'in Meteorolojik Parametrelerine Bağlı Olarak Verim ve Üretiminin YSA ile Tahmini	71
5.3.3. Karakaya HES'in Santral ve Meteorolojik Parametrelerine Bağlı Olarak Verim ve Üretiminin YSA ile Tahmini	72
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR.....	76
EKLER	79
ÖZGEÇMİŞ	91

ÖZET

Enerji; hayat kalitesini iyileştiren, ekonomik ve sosyal iyileşmeyi sağlayan en önemli faktördür. Ülkelerin büyümesi için sanayileşmeye, sanayileşme için ucuz, temiz ve kesintisiz enerjiye, enerji için ise finans, teknoloji ve insan kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizin enerji tüketiminin her geçen gün artması sebebiyle, diğer enerji alternatifleri karşısında milli kaynak olan suyu kullanan hidroelektrik santrallerinin yapımına ve yüksek verimli bir şekilde işletilmesine gerek duyulmaktadır.

Bu çalışmada; Diyarbakır ili sınırları içerisinde bulunan Karakaya Hidroelektrik Santrali ile Elazığ ili sınırları içerisinde bulunan Keban Hidroelektrik Santralinin verim ve üretim değerlerinin yapay sinir ağları ile tahmini yapılmıştır. Bu tahmin çalışmasında santral göl havzasının bulunduğu bölgenin ortalama nem, yağış miktarı, açık yüzey buharlaşma miktarı, ortalama basınç ve sıcaklık gibi meteorolojik verilerinden ve hidroelektrik santralin de gelen suyun debisi, hidrolik düşü, buharlaşan su ve özgül su sarfıyatı gibi santral verilerin son beş yıla ait (2008-2012) aylık ortalamaları alınarak, örneklemeler yapılmıştır. Veriler arasından; meteorolojik ve santral verileri giriş, hidroelektrik santralin üretimi ve verimi de çıkış bilgisi olacak şekilde yapay sinir ağının (YSA) çalışması düzenlenmiştir. Teorik analiz sonucu elde edilen denklemler Matlab ve Excel programları kullanılarak çözülmüş ve grafikler halinde sunulmuştur.

Oluşturulan YSA modeli ile Karakaya ve Keban Hidroelektrik Santralinin üretim ve verimi yaklaşık %99 doğrulukla tahmin edilmiş olup, bu da elektrik enerjisi ihtiyacının arttığı günümüzde, bir sonraki yıllara ait taleplerin karşılanmasında yapılacak olan çalışmalara yardımcı olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik, Hidroelektrik Santral, Yapay Sinir Ağı, Verim, Üretim

SUMMARY

Energy Efficiency Analysis of Keban and Karakaya Hydroelectric Power Plants Depending On Climate Parameters With Use of Intelligent Systems

Energy is the most important element which improves the quality of life and maintains economical, social progress. For development of a nation industry is essential; for industry: cheap, clean and continuous energy, for energy: money, technology and human resources are needed. Since energy consumption of our country increases day by day, power plants using water, which is a national resource, rather than other alternatives, are needed to be built and operated with the highest efficiency.

In this study, efficiency and generation values of Karakaya Hydroelectric Power Plant (in Diyarbakır) and Keban Hydroelectric Power Plant (in Elazığ) are estimated by using artificial neural networks (ANN). For the study; monthly average meteorological values such as humidity, precipitation, open surface evaporation, pressure, temperature of reservoir basin and power plant values like water flow rate, hydraulic head, vaporized water and specific water consumption of the last five years (2008-2012) are taken and sampled. The ANN is set in such a way that the meteorological and power plant values are used as inputs, the generation and efficiency values are gained as outputs. Equations acquired by the theoretical analysis are solved by using MS Excel and Matlab, and presented in graphs.

Using the ANN model, generation and efficiency of Karakaya and Keban Hydroelectric Power Plants are estimated with a 99% precision and it may be presumed that, this model will be able to help the studies about meeting the increasing energy demand of following years.

Key Words: Hydraulic, Hydroelectric Power Plant, Artificial Neural Network, Efficiency, Generation

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Türkiye toplam kurulu güç gelişimi	2
Şekil 1.2. 2013 yılında Türkiye’deki enerji kaynaklarının üretime katkısı.....	2
Şekil 1.3. Türkiye hidrolik potansiyel kurulu güç gelişimi	3
Şekil 3.1. Dikey eksenli HES ünitesinin boyuna kesiti ile Francis türbini görüntüsü	15
Şekil 3.2. Francis tipi hidrolik türbin fotoğrafı	17
Şekil 3.3. Kaplan tipi bir türbinin rotor kanatları açık ve kapalı konumlardaki fotoğrafları	18
Şekil 3.4. Pelton tipi bir hidrolik türbin rotoru fotoğrafı	19
Şekil 3.5. Pelton tipi hidrolik türbine ait nozul	19
Şekil 3.6. Michell-Banki tipi bir özel türbinin şeması	20
Şekil 3.7. Küçük su türbinlerinde debi-verim ilişkisi	21
Şekil 3.8. Küçük HES’ler için türbin düşü-debi abağı	21
Şekil 3.9. Keban HES’e ait türbin verimlilik dağ eğrisi	28
Şekil 3.10. Keban hidroelektrik santralinden bir görünüş.....	30
Şekil 3.11. Keban HES yıllık ürettiği enerji miktarı	31
Şekil 3.12. Keban HES’in Türkiye elektrik üretimine yüzde olarak katkısı	31
Şekil 3.13. Keban HES maksimum ve minimum göl kotu değerleri	32
Şekil 3.14. Keban HES yıllara göre gelen su-enerjiye sarf edilen su-üretilen enerji miktarları	32
Şekil 3.15. Karakaya hidroelektrik santrali ve baraj gölünden bir görünüş	33
Şekil 3.16. Karakaya HES yıllık ürettiği enerji miktarı	34
Şekil 3.17. Karakaya HES’in Türkiye elektrik üretimine yüzde olarak katkısı	35
Şekil 3.18. Karakaya HES maksimum ve minimum göl kotları	35
Şekil 3.19. Karakaya HES yıllara göre gelen su-enerjiye sarf edilen su-üretilen enerji miktarları	36
Şekil 3.20. Türkiye elektrik enerjisi üretimi ve Karakaya HES’in yaptığı üretim miktarı .	36
Şekil 4.1. Basit bir biyolojik sinir hücresi	42
Şekil 4.2. Yapay sinir hücresinin genel yapısı	43
Şekil 4.3. Aktivasyon fonksiyonları	44
Şekil 4.4. Sinir sisteminin blok diyagramı	45
Şekil 4.5. Yapay sinir ağlarının genel yapısı	46

Şekil 4.6. İleri beslemeli ağ yapısı	47
Şekil 4.7. Eğitici öğrenme algoritması	50
Şekil 4.8. Eğitici öğrenme yapısı	51
Şekil 4.9. Takviyeli öğrenme yapısı	52
Şekil 4.10. İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarıma eşdeğer UBSA mimarisi..	54
Şekil 5.1. Çalışmada kullanılan birinci YSA modeli	59
Şekil 5.2. Çalışmada kullanılan ikinci YSA modeli	59
Şekil 5.3. Çalışmada kullanılan üçüncü YSA modeli	60
Şekil 5.4. LM algoritması için eğitim yaklaşımı ile ortalama kare hatasının değişimi	62
Şekil 5.5. LM algoritması ile Karakaya HES veriminin YSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması	63
Şekil 5.6. LM algoritması ile Karakaya HES üretiminin YSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması	63
Şekil 5.7. Keban HES'in YSA ile belirlenen veriminin aylara göre değişimi (santral parametrelili)	65
Şekil 5.8. Keban HES'in YSA ile belirlenen üretiminin aylara göre değişimi (santral parametrelili)	65
Şekil 5.9. Keban HES'in YSA ile belirlenen veriminin aylara göre değişimi (meteorolojik parametrelili)	66
Şekil 5.10. Keban HES'in YSA ile belirlenen üretiminin aylara göre değişimi (meteorolojik parametrelili).....	66
Şekil 5.11. Keban HES'in YSA ile belirlenen veriminin aylara göre değişimi (santral ve meteorolojik parametrelili)	67
Şekil 5.12. Keban HES'in YSA ile belirlenen üretiminin aylara göre değişimi (santral ve meteorolojik parametrelili)	67
Şekil 5.13. Karakaya HES'in YSA ile belirlenen veriminin aylara göre değişimi (santral parametrelili)	70
Şekil 5.14. Karakaya HES'in YSA ile belirlenen üretiminin aylara göre değişimi (santral parametrelili)	70
Şekil 5.15. Karakaya HES'in YSA ile belirlenen veriminin aylara göre değişimi (meteorolojik parametrelili).....	71
Şekil 5.16. Karakaya HES'in YSA ile belirlenen üretiminin aylara göre değişimi (meteorolojik parametrelili)	71
Şekil 5.17. Karakaya HES'in YSA ile belirlenen veriminin aylara göre değişimi (santral ve meteorolojik parametrelili)	72
Şekil 5.18. Karakaya HES'in YSA ile belirlenen üretiminin aylara göre değişimi (santral ve meteorolojik parametrelili)	72

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Düşü değerlerine göre türbinlerin sınıflandırılması	16
Tablo 5.1. Keban HES YSA model verileri için performans kriterleri değişim aralıkları.....	68
Tablo 5.2. Karakaya HES YSA model verileri için performans kriterleri değişim aralıkları.....	73

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Türbinden alınan kullanılabilir iş
c_1	: Suyun türbine giriş noktasındaki hızı (m/s)
c_2	: Suyun türbin rotorunu terk ettiği yerdeki hızı (m/s)
D_1	: Türbin rotorunun giriş çapı (m)
E	: Türbine verilen enerji
$f(.)$	: Aktivasyon fonksiyonu
$g(.)$	: Toplama fonksiyonu
h_{va}	: Çıkış kaybı
H_n	: Net hidrolik düşü (m)
H_b	: Brüt hidrolik düşü (m)
K	: Deneyle tespit edilen katsayı
L_R	: Kayıp güç (W)
n	: Devir sayısı (dev/dak)
n	: Girdi sayısı
N	: Türbin gücü (kW)
P_a	: Elektriksel güç (W)
P_h	: Hidrolik güç (W)
P_i	: Ölçülen giriş basıncı (atm)
P_o	: Ölçülen çıkış basıncı (atm)
R	: Korelasyon katsayısı
Q	: Akışkanın debisi (m^3/s)
Q_i	: Tahrik suyunun debisi (m^3/s)
Q_i	: i nolu sinir hücresi için eşik değeri
Q_{max}	: Maksimum su debisi (m^3/s)
Q_n	: Nominal su debisi (m^3/s)
Q_σ	: Dönme boşluklarından sızan su debisi (m^3/s)
Z_i	: Türbin giriş seviyesi (m)
Z_o	: Türbin çıkış seviyesi (m)
γ	: Suyun özgül ağırlığı (kg/m^3)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
σ_n	: Kaçak su debisinin normal su debisine oranı
η	: Verim (%)
η_s	: Türbin emme borusu verimi (%)
$\eta_{santral}$	: Santral verimi (%)
$\sum H_k$	: Hidrolik düşü kayıpları (m)
ρ	: Suyun yoğunluğu (kg/m^3)
$x_1, x_2 \dots x_n$	: Giriş vektörü
$y_1, y_2 \dots y_n$	: Çıkış vektörü
w_i	: Ağırlık katsayısı

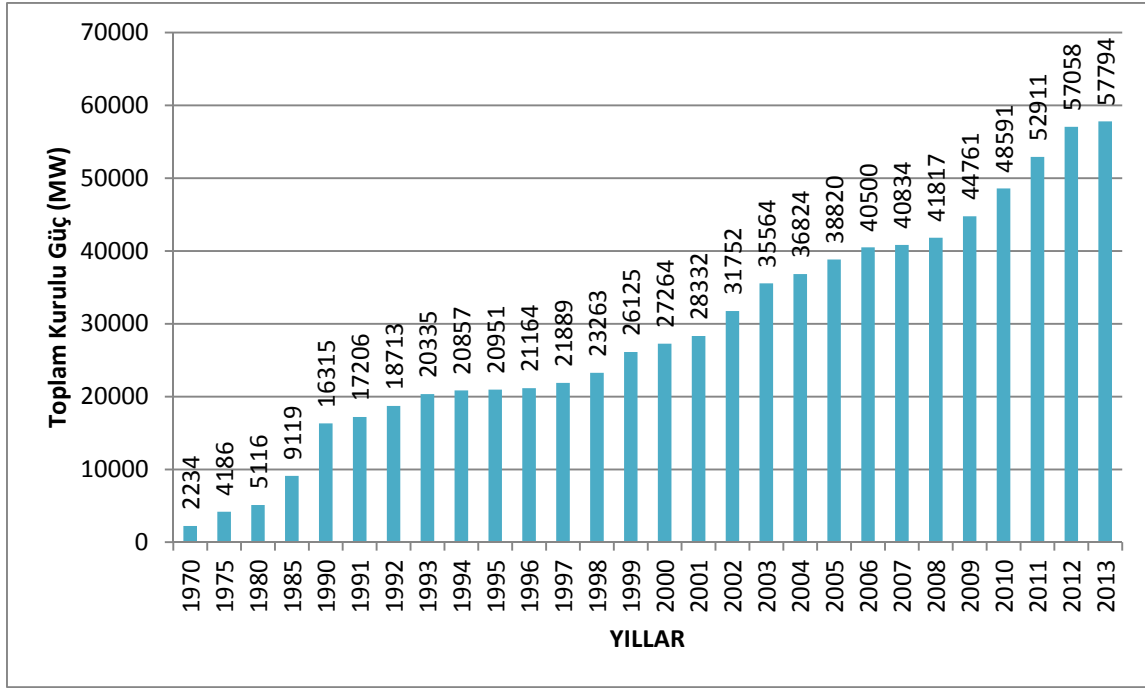
1. GİRİŞ

Toplumların sosyo-ekonomik gelişmelerinde başlıca etkenin, o ülkede tüketimde kullanılan enerji miktarı olduğu kabul edilmektedir. Günümüzde hızla gelişen teknoloji, enerji üretimi ve tüketiminin hızlı bir şekilde artmasına neden olmuştur. Gelişmelerin başlangıcında fosil kaynaklı birincil enerji kaynaklarının tükenir olmasına ve çevre kirliliği oluşturmalarına karşın ucuz oluşu, bu enerji kaynaklarının kullanılmasına öncelik tanımıştır.

Enerji kaynakları bakımından net ithalatçı ülke konumunda olan Türkiye’de 2012 yılında enerji arzının petrolde ve doğalgazda %90’ların üzerinde, kömürde ise %20 oranında olmak üzere toplam enerjinin yaklaşık %72’lik bölümünü ithalat ile karşılamıştır. Türkiye’nin son 10 yıllık dış ticaret dengesi ve enerji ithalatı; 2000-2012 yılları arasında yapılan toplam ihracat 710 Milyar USD, ithalat 1.085 Milyar USD, ham petrol + doğalgaz + kömür ithalatı 155 Milyar USD olmuştur. 380 Milyar USD olan dış ticaret açığının % 41’i enerji ihtiyacından kaynaklanmıştır. Son 10 yıllık dönemde ihracat arttıkça enerji ithalatının arttığını göstermektedir [1].

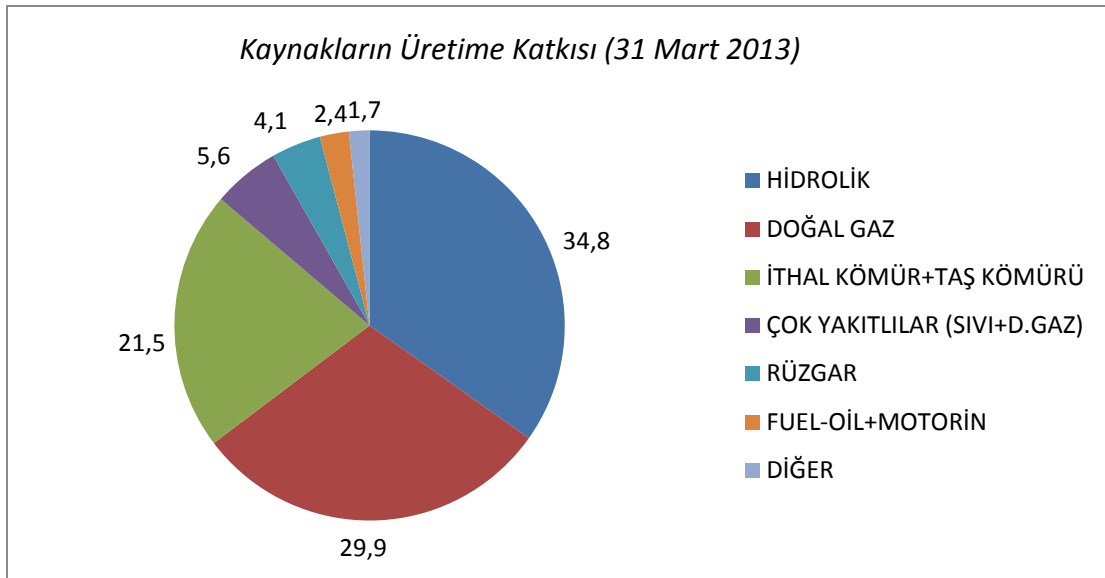
Hidroelektrik enerji potansiyeli ülkemiz için 433 milyar kWh/yıl olup, bu dünya toplam potansiyelinin yaklaşık %1’dir. Avrupa’daki toplam hidroelektrik kapasite içinde ise Türkiye’nin payı %14’dür. Gelecekte teknik yönden değerlendirilebilir hidroelektrik enerji potansiyeli olan 216 milyar kWh/yıl’ın yüksek bir oranda kullanımı mümkün olabilecektir. 2013 yılı itibariyle DSİ Genel Müdürlüğü’nce tespit edilen ekonomik hidroelektrik enerji potansiyelimiz yaklaşık 130 milyar kWh’dır. Ülkemizde henüz etüdü yapılmamış 1-30 MW arası küçük hidroelektrik tesislerden 10-15 milyar kWh mertebesinde ilave elektrik enerjisi üretebileceği düşünülmektedir [2].

Ülkemizde toplam kurulu güç Şekil 1.1’de görüldüğü üzere, 31 Mart 2013 sonu itibariyle 57.794 MW’dır. Ülkemizin 2015 yılında yük ihtiyacı da dikkate alındığında toplam kurulu güç kapasitesinin 60.000 MW-65.000 MW, 2020 yılında ise 80.000 MW-90.000 MW arasında olması beklenmektedir. Bu da 2015 yılına kadar en az 15.000 MW’lık enerji yatırımlarının yapılmasını zorunlu hale getirmektedir [1].



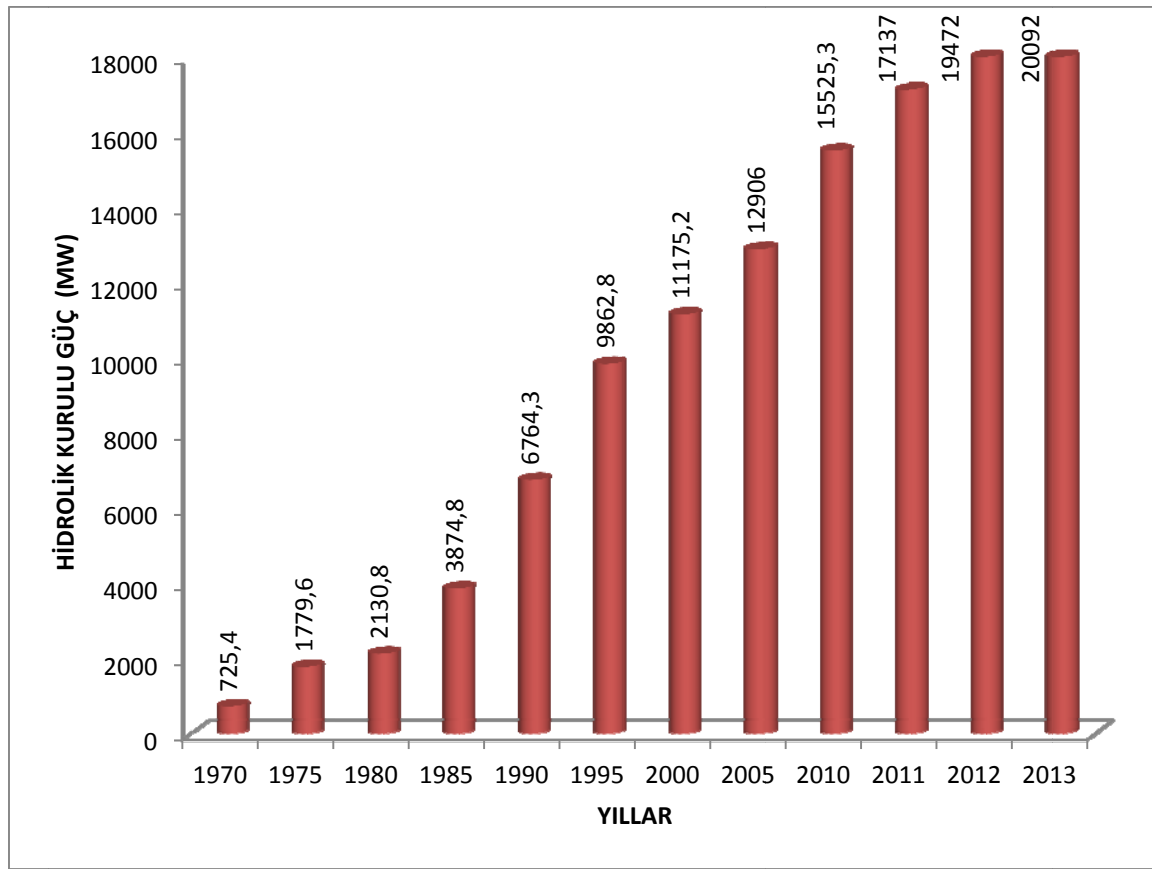
Şekil 1.1. Türkiye toplam kurulu güç gelişimi

Ülkemiz elektrik enerjisi üretimine kaynaklar açısından bakıldığında; 31 Mart 2013 sonu itibariyle Şekil 1.2’de görüldüğü üzere, toplam elektrik üretiminin %34.8’si hidrolik kaynaklardan, %29.9’u doğalgazdan, %21.5’u ithal ve taş kömüründen, %5.6’sı çok yakıtlılardan (sıvı+d.gaz), %4.1’i rüzgar enerjisinden, %2.4’ü fuel-oil ve motorinden, %1.7’si ise diğer enerji kaynaklarından sağlanmıştır. Kamunun bu üretimde 2010 yılında sahip olduğu pay %49.8 iken, 2013 yılında bu rakam %44.4’e düşerken, geri kalan %55.6’lık üretim ise özel sektör tarafından karşılanmıştır [1].



Şekil 1.2. 2013 Yılında Türkiye’deki enerji kaynaklarının üretime katkısı

Ülkemizde Mart 2013 sonu itibariyle 405 adet hidroelektrik santral elektrik üretimi yapmaktadır. Bu santraller Şekil 1.3’de görüldüğü gibi yaklaşık 20.092 MW’lık bir kurulu güce ve toplam ekonomik potansiyelin yaklaşık %35’ine karşılık gelen 42.000 GWh’lık ortalama elektrik üretim kapasitesine sahiptir [1,3]. Bu hidroelektrik potansiyelin yaklaşık 6.400 MW’ı (%35-40) Fırat nehri havzasından karşılanmaktadır. Hidrolik potansiyelimizin en fazla olduğu Fırat havzasında; Keban, Karakaya ve Atatürk Hidroelektrik Santralleri gibi çok büyük santrallerin mevcut üretim kapasiteleri, ülke enerji arzımız ile bölgenin ekonomik kalkınması açısından da önemlidir.



Şekil 1.3. Türkiye hidrolik potansiyel kurulu güç gelişimi

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Elektrik enerjisinin üretim miktarları dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük paya hidroelektrik enerjisi sahiptir. Türkiye’de elektrik enerjisi tüketiminin gün geçtikçe artması sebebiyle mevcut santrallerin verimli bir şekilde çalışması ile birlikte yeni enerji kaynaklarının (hidrolik, termik, doğalgaz, rüzgar enerjisi vb.) teminini zorunlu hale getirmiştir. Özellikle artan petrol ve doğalgaz fiyatları ve

ülkemizde bulunan kömürlerin düşük kalorili olması gibi etkenler hidroelektrik santralleri cazip bir seçenek olarak ortaya koymaktadır.

Hidroelektrik üretimi; sıcaklık, buharlaşma, yağış miktarı, nem ve diğer iklimsel parametrelere bağlı olan suyun debisine bağlıdır. Yağış miktarındaki değişim, hidroelektrik santralindeki üretilecek enerji miktarını büyük ölçüde etkilemektedir. Sıcaklık, kuraklık, buharlaşma, yağış miktarı, akarsuların akış miktarı, nem, radyasyon, rüzgar hızı ve toprağın nem durumu hidroelektrik üretimini etkileyen iklimsel değişkenlerdir. Meteorolojik parametrelerin, hidroelektrik üretim faktörüne olan etkisini incelediğimiz bu çalışmada, Fırat Havzasında bulunan Keban ve Karakaya hidroelektrik santrallerinin verim ve üretim değerlerinin ileriye dönük olarak tahminleri gerçekleştirilmiştir.

Geçmişteki üretim ve verimin doğruluğu ile, bir sonraki yılın üretim ve verim tahmini için akıllı sistemlerden yapay sinir ağları (YSA) metodu kullanılmıştır. YSA sayısal bir modelleme tekniği olup, anahtar bilgi kalıplarını öğrenebilen çok boyutlu bilgi alanlarıdır. Bir şekilde YSA, insan beynini ve öğrenme sürecini taklit etmektedir. Bu nedenle sistem hakkında karakteristik bilgiye ihtiyaç yoktur. YSA bunun yerine önceden girilmiş veriler olan girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Dolayısıyla YSA, bir veya daha fazla girdi ve çıktı arasındaki muhtemelen doğrusal olmayan ilişkinin hesaplanmasında kullanılmaktadır [4].

Diğer bir ifade ile YSA'lar yapısal ve matematiksel olarak birbirinden farklılıklar gösterirler. Genellikle giriş, çıkış ve gizli katman olarak üç katmandan oluşmaktadırlar. Giriş katmanındaki hücre sayısı, YSA'ya yapılan veri girişi sayısı kadardır. Çıkış katmanındaki hücre sayısı ise, YSA'dan alınacak bilgi sayısı kadardır. Gizli katmandaki düğüm sayısı ise, deneysel olarak bulunur. Hücre sayısı ve hücreler arasındaki bağlantı sayısı, YSA'nın öğrenme kapasitesine etki eder. Bir hücrenin çok sayıda girişi olmasına rağmen, bir adet çıkışı vardır. Hücreler bu giriş bilgilerini işleyerek bir sonraki katmana bilgiyi aktarırlar. Giriş bilgileri; her bilgi kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır ve aktivasyon fonksiyonuna tabi tutularak işlenir. Böylece bir sonraki katmana iletilecek bilgi elde edilmiş olur. YSA'ların matematiksel farklılıkları ise eğitilmelerinde kullanılan algoritmalar ve hücre çıkışında kullanılan aktivasyon fonksiyonunun tipidir. Aktivasyon fonksiyonları, üstel fonksiyonlar ihtiva etmelerinden dolayı lineer olmayan modelleme elde edilebilmektedir.

Akıllı sistemlerden bir diğer yöntem ise uyarlamalı bulanık sinirsel ağlar (ANFIS : Adaptive Neuro Inference System)'dir. Uyarlamalı bulanık sinirsel ağlar (UBSA), bulanık

sistemlerle YSA'nın birleşiminden oluşan bir sistemdir. Bulanık sistemler, uzman görüş ve deneyimlerini sözel ifadeler yardımıyla aktarırken, yapısı gereği hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilen YSA, öğrenme özelliği sayesinde, veriden hareketle birçok değişik formdaki fonksiyonel yapıyı başarıyla modelleyebilmekte ve herhangi bir formdaki fonksiyona belirli bir doğrulukta yakınsayabilmektedir. Her iki yöntemin avantajlarını birleştiren UBSA, son yıllarda tahmin, kontrol, sınıflandırma, zaman serileri analizi gibi birçok alanda başarıyla kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın giriş bölümünde, Türkiye'deki enerji üretimindeki kurulu güç ve hidroelektrik potansiyel ile konunun önemi anlatılmıştır. İkinci bölümde ise YSA ile alakalı literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde; hidrolik enerji ile hidrolik türbinler, türbin verimliliği ve verimliliği etkileyen parametreler hakkında bilgiler verilerek, Keban ve Karakaya hidroelektrik santrallerinin üretim bilgileri, su bilgileri ve Türkiye elektrik enerjisi üretimine katkıları detaylıca incelenmiştir. Dördüncü bölümde, mevcut çalışmada kullanılan akıllı sistemlerden YSA'nın genel özellikleri ve yapısı, kullanım alanları, avantaj ve dezavantajları, biyolojik sinir hücreleri ve öğrenme algoritmaları ile bir diğer akıllı sistem olan UBSA'nın yapısı incelenmiştir.

Beşinci bölümde ise, yapay sinir ağlarıyla modelleme yapılmıştır. Bu bölümdeki 2008 ile 2012 yılları arasındaki günlük meteorolojik veriler Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden ve günlük santral veriler ise EÜAŞ Keban ve Karakaya HES İşletme Müdürlüklerinden temin edilmiştir. Nem, yağış miktarı, açık yüzey buharlaşma, basınç, bulutluluk ve sıcaklık gibi meteorolojik parametrelerine bağlı olarak ve bununla birlikte buharlaşan su, suyun enerjiye oranı, net düşü ve gelen suyun debisi gibi santral parametrelerine bağlı olarak Keban ve Karakaya hidroelektrik santrallerinin verim ve üretim değerlerinin ileriye dönük tahminleri yapılmıştır. Bu tahminler sonucu elde edilen verim ve üretim değerleri, gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur. Bu bölümde her iki hidroelektrik santral içinde, sadece meteorolojik parametrelere bağlı olarak, sadece santral parametrelerine bağlı olarak ve de ayrıca hem meteorolojik hem santral parametrelerine bağlı olarak verim ve üretim tahminleri YSA ile yapılmıştır.

Mevcut çalışmada; hidroelektrik santrallerin verim ve üretim değerlerinin tahmini için YSA modeli ile on girişli, iki çıkışlı bir sayısal model hazırlanmıştır. Hazırlanan modellerin ürettiği değerler ile gerçek değerler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çeşitli performans kriterleri ile yapılan bu karşılaştırmaya göre hazırlanan modellerin ürettiği

değerlerin oldukça başarılı olduğu tespit edilmiştir. Son bölüm olan sonuç ve öneriler kısmında ise, bu çalışmaya varılan neticenin öneminden bahsedilmiş olup, bu çalışmanın diğer hidroelektrik santrallerine de uygulanarak, elektrik piyasasının arz talep dengesi için bir kaynak oluşturmasının önemi anlatılmıştır.

2. LİTERATÜR

Karakuş yaptığı çalışmada [2011], Kırşehir’de bulunan Hirfanlı Hidroelektrik Santralinde enerji veriminin, iklim şartlarına bağlı olarak değişiminin analizini Yapay Sinir Ağı ile modelleyerek incelemiştir. Bu çalışmayla, enerji üretiminde verimin çeşitli şartlardan ve değişimlerden nasıl etkilendiği tespit edilmiştir. Sıcaklık, yağış miktarı, açık yüzey buharlaşma miktarı, güneşlenme süresi, ortalama rüzgar hızı, ortalama nem gibi meteorolojik veriler ilgili yerlerden alınarak, bununla birlikte enerji üretimi ile ilgili verilerde Hirfanlı HES’den temin edilerek modelleme yapılmıştır. Bu veriler yapay sinir ağının eğitilmesinde kullanılmıştır. Veriler arasından; santralin verimi çıkış ve meteorolojik verilerde giriş bilgisi olacak şekilde yapay sinir ağının çalışması düzenlenmiştir. Bu modelleme sonucunda hidroelektrik santralin düşü ve verim tahmini yapılmıştır. Düşü değerinin tahmini sonucunda %0.75 ortalama hatayla, verim değeri tahmini sonucunda ise %0.25 ortalama hata gibi başarılı bir sonuç elde edilmiştir [5].

Nalbant ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [2006]; Kütahya ilinin elektrik puant yük tahminini yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak yapmışlardır. Elektrik dağıtım şirketlerinin ileriye dönük sistem planlaması, kontrol ve işletmesinde yük talep tahminine ışık tutacak olan bu çalışmada, Kütahya ilinin 2000-2004 yılları arası geriye dönük puant bilgileri baz alınmıştır. YSA ile yapılan puant tahmininde; yük, nüfus ve sıcaklık gibi faktörlerin birlikte ele alınmış ve mutlak hatanın kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür [6].

Işık’ın yaptığı çalışmada [2012]; ısıl sistem tasarımında kullanılan meteorolojik verilerin, Türkiye’nin genelini temsil edecek şekilde elli il için akıllı sistemler ile tahminini yapmıştır. Akıllı sistemlerden yapay sinir ağları ve uyarlamalı bulanık sinirsel ağ tabanlı modelleme sistemleri kullanılmıştır. Bu modellemelerde MATLAB paket programı kullanılarak ileriye dönük ısıl sistem tasarımında kullanılan verilerin yüksek duyarlılıkla tahminini gerçekleştirmiştir. Tahmin edilen bu veriler yardımı ile yeni ısıtma derece-gün ve soğutma derece-gün bölgeleri önerilmiştir. Bu veriler kullanılarak Türkiye için nem, sıcaklık, güneş ışınım şiddeti, ısıtma derece-gün, soğutma derece-gün haritaları Surfer ve ArcGIS programları kullanılarak hazırlanmıştır. Uygulanan modelden tasarım yapanların faydalanabilmesi için Matlab GUI ile bir grafiksel arayüz gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, ısıtma, havalandırma ve hava şartlandırma sistemlerinin tasarımında kullanılan nem,

sıcaklık ve ışıınım değeri akıllı istemlerle yapılan modelleme çalışmaları ile yaklaşık %99 doğrulukla tahmini gerçekleştirilmiştir [4].

Kişi'nin yaptığı çalışmada [2005]; Amerika'nın California eyaletinde bulunan iki istasyonuna ait günlük sıcaklık, radyasyon, basınç, nem ve buharlaşma gibi meteorolojik veriler kullanılarak, YSA ile buharlaşma tahmin modelleri geliştirmiştir. Buharlaşma modellemesinde üç katmanlı YSA kullanılmış olup, çalışma neticesinde elde edilen sonuçların desteklenmesi için başka istasyonlara ait ve daha fazla veri kullanılarak, yeni çalışmaların yapılması kanaatine varılmıştır [7].

Hamzaçebi ve Kutay yaptıkları çalışmada [2004]; Türkiye'nin uzun dönemli elektrik enerjisi tüketimi tahmininde yapay sinir ağlarının kullanılmasını araştırmışlardır. YSA teknikleri ile bulunan sonuçlar, Box-Jenkins modelleri ve regresyon tekniği ile karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlar neticesinde yapay sinir ağlarının elektrik enerjisi tüketiminde iyi bir tahmin aracı olduğunu göstermiştir [8].

Azadeh ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [2009], klimatolojik değişkenler ile küresel güneş ışıınımını tahmin etmek için entegre bir YSA yaklaşımı sunulmaktadır. Entegre YSA ğrenme ve test verileri, en düşük mutlak hata yüzdesi yaklaşımı ile çok katmanlı algılayıcılarla işlenmiştir. Önerilen yaklaşım, uygun ölçüm ekipmanı bulunmayan yerler için faydalı olacaktır. Girdi değişkenleri olarak ilgili tüm klimatolojik ve meteorolojik parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Entegre YSA yaklaşımının uygulanabilirliğini ve üstünlüğünü göstermek amacıyla, İran'ın altı şehri için altı yıl süresince aylık veriler toplanmıştır. Her şehir için ayrı bir model kabul edilmiş ve her şehirde güneş ışıınımı miktarı hesaplanmıştır. Bunlara ilave olarak entegre bir YSA modeli güneş ışıınımını tahmin etmek için ngrlmştir. Entegre bir modelde elde ettikleri sonuçlar Yaklaşık %94 gibi yüksek bir hassasiyet göstermiştir. Bu sonucun doğruluğunu göstermek için geleneksel angström modeli ile bu model sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu nedenle, önerilen yaklaşımın, doğrudan ölçüm cihazlarının olmadığı uzak ve kırsal bölgelerde güneş ışıınımının tahmininde etkili bir yöntem olabileceğini göstermişlerdir [9].

Partial yaptığı çalışmada [2007], Türkiye'nin günlük meteorolojik verilerini kullanarak, YSA ve dalgacık analizi metotları ile günlük yağış tahminini yapmayı amaçlamıştır. Yağış tahmini üzerine, meteorolojik verilerin yardımı ile geniş kapsamlı bir tahmin modeli, YSA ve dalgacık analizi uygulaması olarak ortaya koymuştur. Sonuçta dalgacık dönüşümünün YSA ile birlikte yağış tahmininde kolaylıkla uygulanabileceğini göstermiştir [10].

Trafalis ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [2002] geliştirdiği bir YSA modeli ile yağış tahmininde bulunmuşlardır. Yağış verilerinin akıllı sistem tekniklerini uygulamak için gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Modelleme bölgesi olarak seçtikleri Oklahoma Mesonet bölgesinden gelen yağış verilerini, eğitim ve çıkış verisi olarak kullanmışlardır. Sonuçta, yoğun yağış olduğu zaman tüm lineer modellerin tahminlerinde başarılı sonuç vermediklerini, ancak YSA ile yapılan modelleme sonuçlarının en yoğun yağışta bile başarılı sonuç verdiklerini tespit etmişlerdir [11].

Doğan yaptığı çalışmada [2009], nehirlerdeki katı madde konstrasyon miktarını tahmin etmek için bir YSA modeli oluşturmuştur. Su kaynaklarının projelerinin planlanması ve yöneltmesinde nehirlerdeki katı madde konstrasyonunun tahmini önemli olduğundan, literatürdeki birçok katı madde taşınım denklemleri birbirleriyle uyum sağlamadığı ve farklı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Yapılan YSA modellemesiyle bağımlı değişken (toplam katı madde konstrasyonu) ile bağımsız değişkenler (yatak eğimi, akım debisi ve katı madde dane çapı) arasındaki lineer olmayan ilişki açıklanabilmiştir. YSA bazı katı madde taşınım denklemleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda, YSA modelinin diğerlerine göre daha iyi tahminler verdiği gözlenmiştir [12].

Önal'ın yaptığı bir çalışmada [2009], Kızılırmak nehri üzerinde bulunan dört adet akım gözlem istasyonlarının verileri ile Kayseri, Sivas ve Zara yağış ölçüm istasyonlarının verileri kullanılarak, o bölgedeki farklı bir istasyonun akım tahmini YSA yöntemi ile yapılmıştır. Bu akım tahmininde kullanılan YSA modeli oluşturulurken, gizli tabakadaki nöron sayıları tahminlerde etkili olmuştur. Akım tahmini tespitinde en iyi sonucun tanjant sigmoid fonksiyonu ile gerçekleştiği tespit edilmiş olup, R^2 değeri 0.972 olarak bulunmuştur. Bu da sonuçta, sınırlı veri olması ve veri kaybı durumlarında yapay sinir ağı modellerinin nehir akım tahminlerinde kullanabilirliğini göstermiştir [13].

Çevik yaptığı çalışmada [2009], Isparta iline ait aylık yağış tahminini yapmak için, Isparta ve yakın çevrelerinde bulunan istasyonların yağış verilerini kullanarak bir YSA modeli geliştirmiştir. Bununla birlikte yağış tahmini için aynı girdi parametrelerini kullanarak, çoklu lineer regresyon modelleri de geliştirmiştir. Isparta için geliştirilen yağış modellerinin performansını değerlendirmek için hem YSA modellerinin hem de çoklu lineer regresyon modellerinin sonuçları, ölçüm değerleri karşılaştırılmış ve yüksek determinasyon katsayıları elde etmiştir. Sonuçta geliştirilen YSA modeli ile; yağış ölçümünün yapılamadığı, ölçüm sisteminin arızalı olduğu veya yağış verilerinin eksik

olduğu durumlar gibi problemlerle karşılaştırıldığında yağış tahminlerinde kullanabileceği sonucuna varılmıştır [14].

Doğan ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [2007], Sapanca Gölü'nün günlük buharlaşma miktarının tahmini için bir YSA modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada ileri beslemeli geri yayınlı ve radyal temelli yapay sinir ağı modeli kullanılarak, sıcaklığa, rüzgar hızına, nem miktarına, güneşlenme süresine ve maksimum güneşlenme müddetine bağlı olan günlük buharlaşma miktarının tahmini yapmışlardır. Oluşturulan YSA modeli sonucunda, korelasyon katsayısı ($R = 0.651$), ortalama mutlak hatası ($OMH = \%68.54$) ve ortalama karesel hatası ($OKH = 2.674$) olarak bulunarak, günlük buharlaşma miktarına en yakın sonucu vermiştir [15].

Behrang ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [2010]; meteorolojik verilere bağlı olarak yatay bir yüzey üzerindeki günlük küresel güneş ışıınımı, YSA teknikleri ile tahmin edilmiştir. 2002-2006 yılları arasında İran'ın Defzul şehri için güneş ışıınımı değerleri günlük ortalama hava sıcaklığı, bağıl nem, güneşlenme süresi, buharlaşma ve rüzgar hızı değerleri ile tahmin edilmiştir [16].

Rehman ve Mohandes yaptıkları çalışmada [2008], Suudi Arabistan'ın Abha şehrinde 1998-2002 yılları arasında ölçülen hava sıcaklığı ve bağıl nem değerleri kullanılarak geliştirilen YSA modeli ile üç veri bileşimi kullanılarak güneş ışıınımı tahmini yapmışlardır. Bu üç veri bileşiminin ilkinde yıllık ve günlük en yüksek hava sıcaklığı giriş verisi olarak kullanılmıştır. İkincisinde yıllık ve günlük ortalama hava sıcaklığı, üçüncüsünde ise ortalama hava sıcaklığı ve bağıl nem giriş verileriyle, çıkışta güneş ışıınımı değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. 1998 ve 2001 yılları arasında ölçülen veriler YSA modelinin eğitimi için, 2002 yılında ölçülen veriler ise test için kullanılmıştır. Test için kullanılan veriler, yapay sinir ağlarının eğitiminde kullanılmamıştır. Elde edilen sonuçlar, YSA'nın sadece sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak güneş ışıınımını tahmin etmede etkili olduğunu göstermiştir [17].

Sözen ve Arcaklıoğlu'nun yaptıkları bir çalışmada [2005], Türkiye'de güneş enerjisi potansiyelini YSA ile belirlemek için meteorolojik ve coğrafi verilere dayalı yeni bir formülasyon geliştirmişlerdir. Ölçekli-eşlenik gradyan (SCG), Pola-Ribiere metodu (CGP), Levenberg-Marguardt (LM) öğrenme algoritması ve logistik sigmoid aktivasyon fonksiyonu ağları kullanılmıştır. Meteorolojik ve coğrafi veriler (ortalama güneşlenme süresi, ortalama sıcaklık, ay, yükseklik, enlem ve boylam) giriş katmanında kullanılmıştır. Güneş ışıınımı ise çıkış katmanını oluşturmaktadır. Maksimum mutlak hata yüzdesi 3.832'

den daha az olarak bulunmuştur. R^2 değerleri, seçilen istasyonlar için yaklaşık %99.97'dir. Bu çalışma güneş ışınlam değerlerini doğru bir şekilde tahmin etmek için YSA yöntemini doğrulamaktadır [18].

Farade'nin yaptığı çalışmada [2009], Nijerya'da güneş enerjisi potansiyelinin tahmini için YSA'ya dayalı bir model geliştirmiştir. MATLAB programı kullanılarak, standart çok katmanlı, ileri beslemeli ve geri yayımlı mimariye sahip bir YSA modeli oluşturulmuştur. Ağın eğitiminde ve testte kullanılan veriler Nasa jeo uydusundan temin edilen on yıllık coğrafi ve meteorolojik verilerden oluşmaktadır. Meteorolojik ve coğrafi (enlem, boylam, yükseklik, ay, ortalama sıcaklık, ortalama güneşlenme süresi, güneş ışınlamı ve bağıl nem) ağa girdi olarak verilmiştir [19].

Elminir ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada [2005]; güneş enerjisi uygulamaları için yürütülen, saha testinin zaman alıcı, maliyetli ve hakim hava şartlarına büyük ölçüde bağlı olduğunun üzerinde durularak, ölçmelerde sistem hataları ve kötü hava şartlarının çeşitli problemlere neden olduğu belirtilmektedir. Yapılan YSA modellemesiyle; kızılötesi, ultraviyole ve küresel güneşlenme, yaklaşık olarak sırasıyla %95, %93 ve %96 doğruluk oranıyla tahminleri yapılmıştır [20].

Mubiru ve Banda yaptıkları çalışmada [2008]; maksimum sıcaklık, bulutluluk, güneşlenme süresi gibi hava istasyonu bilgileri ve yer parametreleri (enlem, boylam ve yükseklik) verilerini dikkate alarak Uganda'da yatay düzlem üzerindeki günlük ortalama güneş ışınlamın aylık tahmini için bir YSA modeli geliştirilmiştir. Sonuçta elde edilen küresel güneş ışınlamının tahmin edilen ve ölçülen değerleri arasında bir uyum olduğunu göstermektedir. Korelasyon katsayısı 0.974 olarak elde edilmiştir. RMSE değeri 0.385 MJ/m^2 ve ortalama yanlılık hatası 0.059 MJ/m^2 'dir. YSA ve deneysel yöntem arasında karşılaştırma yapıp, önerilen YSA tahmin modelinin üstünlüğü vurgulanmıştır [21].

Işık ve İnallı yaptıkları çalışmada [2011]; enerji sistemlerinin tasarımında önem arz eden meteorolojik parametrelerinin tahmini yapmak için bir yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. Elazığ iline ait 2001-2010 yılları için ölçülmüş meteorolojik verileri kullanılarak, Geri yayımlı çık katmanlı YSA metodu ile aylık ortalama güneş ışınlamı şiddeti, nispi nem ve sıcaklık değerlerinin tahmini yapılmıştır. Geliştirilen YSA modelinin performansı, orta katmandaki nöron sayısı, giriş sayısı, öğrenme katsayısı gibi parametreler değiştirilerek ayarlanmıştır. YSA modeli ile istenen meteorolojik parametrelerin korelasyon katsayısı; ışınlam için 0.991, nispi nem için 0.995 ve sıcaklık değerleri için ise 0.998 olarak bulunmuştur. Neticede bu sonucun, YSA'nın uygun ağ mimarisi ve eğitim

seti ile ışınlm şiddeti, nispi nem ve hava sıcaklığı verilerinin tahmininde de başarılı bir şekilde kullanabileceğini göstermiştir [22].

Chao Kuo ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [2010]; Tayvan'da bulunan NDJ ve JFM nehirlerinin akışını tahmin etmek için, hidrolik bir sistem geliştirmişlerdir. Yapay sinir ağları ile nehir sıcaklıklarını kullanarak, mevsimsel yağış tahminlerini yapmışlardır. Bu iki nehir havzasında elde edilen başarılı tahminler, Tayvan'daki su kaynaklarının yönetimi için önemli bir kaynak oluşturmuştur.

Adamowski ve Chan yaptıkları çalışmada [2011]; Kanada'da Quebec bölgesinde bulunan bir havzadaki kaynakların yer altı suyu seviyelerini ve miktarlarını belirlemek için, 2002 ve 2009 yılları arasındaki geçmiş verileri kullanarak başarılı bir yapay sinir ağları yöntemi geliştirmişlerdir.

3. KEBAN VE KARAKAYA HES'DE ÜRETİM ANALİZİ

3.1. Genel Bilgiler

Hayat için en önemli unsurların başında su gelmektedir. Su enerji üretimi içinde vazgeçilmez bir kaynaktır. Su en temiz ve en verimli elektrik enerjisi üretim kaynağıdır. Bu sebepten dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Elektrik enerjisi üretim oranları dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük paya hidroelektrik enerji sahiptir. Türkiye’de hızla artan elektrik enerjisi talebi, yeni hidroelektrik santralleri yapmayı ve mevcut santralleri de yüksek verimle çalıştırmayı zorunlu hale getirmiştir. Bu enerji talebini karşılamak için büyük, küçük ve orta ölçekli hidroelektrik santral (HES) projelerinin hayata geçirilme çalışmaları devam etmektedir. Özellikle artan petrol ve doğalgaz fiyatları, ülkemizde bulunan kömürün kalorisinin düşük olması gibi etkenler göz önüne alındığında, HES’lerin cazip bir seçenek olarak ortaya çıktığı görülmektedir.

Suyun, enerji kaynağı olarak doğa ve teknikteki görüntü şekilleri çok çeşitlidir. Su enerjisi, nehir ve ırmaklarda “kinetik enerji”, yüksek dağlarda ve yaylalardaki doğal göllerde “potansiyel enerji”, akıntılı deniz boğazlarında ve gel git olayı bulunan denizlerde de “kinetik enerji”, şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Hidrolik türbinlerde türbin rotoru kanatlarının aralıklarından geçirilen suyun basınç enerjisi ile hız enerjisi, dönen türbin rotorunun kanatlarının aralıklarında mekanik enerjiye dönüşürler. Buna karşın su çarklarında, suyun mevcut olan potansiyel enerjisi, suyun çark kepeçlerine dolması ve ağırlık tesiri ile çarkı döndürmesiyle mekanik enerjiye dönüşür. Bu mekanik enerji, su türbinlerinin tahrik ettiği generatörler vasıtası ile elektrik enerjisine çevrilmektedir. Üretilen elektrik enerjisi ise, enerji iletim hatları vasıtası ile uzak yerlere nakledilerek tüketicilere dağıtılmaktadır. Ancak, bir su türbininden su kuvveti yardımı ile enerji üretebilmek için gerekli olan su hızını elde etmek üzere mutlaka bir düşme yüksekliğine (hidrolik düşüye) veya bu su düşüşüne uygun bir basınç farkının bulunmasına gerek vardır.

Hidrolik düşü, üst su seviyesi (membra) ile alt su seviyesi (mansap) arasındaki yükseklik farkı şeklindedir. Ancak bu hidrolik düşü brüt düşüdür. Türbin gücü hesaplamalarında net düşü göz önüne alındığından, net düşünün hesaplanması gerekmektedir. Bir hidrolik santralin su iletim tesislerinde, yani su iletim kanalları, tünelleri, cebri boruları vs. gibi

tesislerinde su moleküllerinin sürtünmeleri nedeniyle kayıplar meydana gelmektedir. Meydana gelen bu düşü kayıpları toplamına $\sum H_k$ ve tesisin brüt hidrolik düşüşüne H_b diyecek olursak, bu tesisin net hidrolik düşüşü H_n aşağıdaki bağıntı (3.1) ile bulunmaktadır [23].

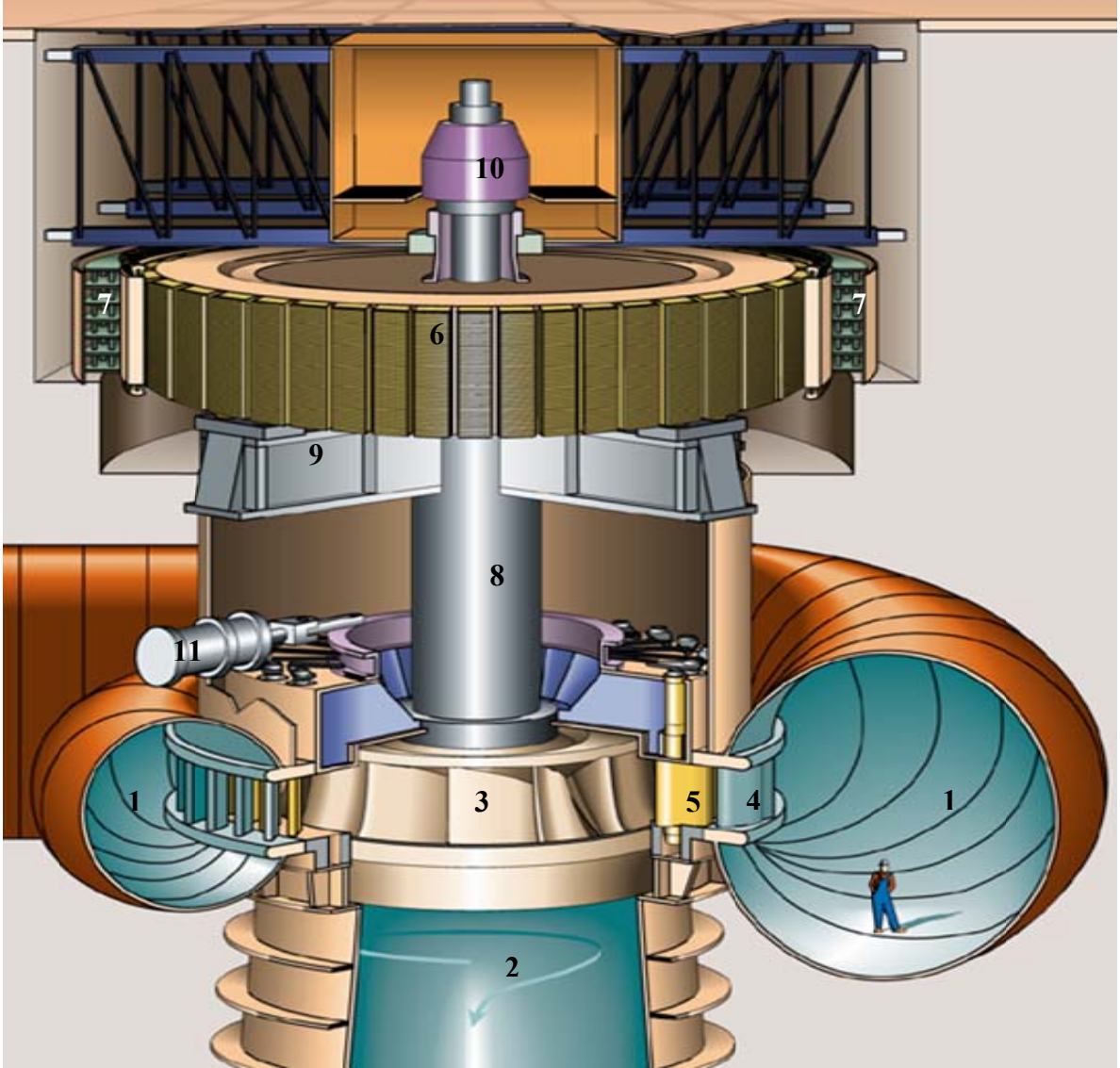
$$H_n = H_b - \sum H_k \quad (\text{m}) \quad (3.1)$$

Bir su kuvvetinden su türbini vasıtası ile elde edilebilecek olan N gücü, suyun H_n net hidrolik düşüşü, saniyede akan Q su miktarı (debisi), suyun özgül ağırlığı γ ve türbinin hidrolik ve mekanik kayıplarına bağlı olan η türbin verimini de göz önüne alarak, aşağıdaki eşitlik (3.2) ile hesaplanmaktadır.

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta}{102} \quad (\text{kW}) \quad (3.2)$$

Şekil 3.1’de bir hidroelektrik santral ünitesinin numaralarla gösterilen elemanlarının isimleri 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 3.1. Dikey eksenli hidroelektrik santral ünitesinin boyuna kesiti ile Francis türbini görüntüsü

3.2. Hidrolik Türbinler

Hidroelektrik santral (HES) verimliliğinde en büyük rolü olan teçhizat türbinlerdir. Düşü, debi ve yük gibi temel işletme parametrelerinin değişimi, diğer teçhizatlara göre türbin verimini daha büyük ölçüde etkiler. Hidrolik türbinleri; yapılış şekillerine, işletme tarzlarına, hidrolik düşüye ve hidrolik akımın rotordaki yönüne göre çeşitli sınıflara ayırmak mümkündür. Ancak genellikle, hidrolik türbinler “yüksek basınç türbinleri” ve “eş basınç türbinleri” olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.

Farklı düşüler için değişik hidrolik türbin tiplerinin kullanılmasının nedeni, türbin ile generatör arasındaki hız değişimini en aza indirmektir. Bu sebepten dolayı elektrik

üretiminde, rotor hızının yüksek olması istenir. Herhangi bir türbinin hızı, düşü yüksekliğinin karekökü ile doğru orantılı olarak azalmaktadır. Bu nedenle alçak düşülü yerlerde daha hızlı türbinler tercih edilmektedir. Aşağıdaki Tablo 3.1’de düşü değerine göre türbinlerin sınıflandırılması görülmektedir.

Tablo 3.1. Düşü değerlerine göre türbinlerin sınıflandırılması

Düşü Sınıflandırması	Türbin Tipi	
	Aksiyon (Etki)	Reaksiyon (Tepki)
Yüksek Düşü (>50 m)	Pelton Turgo Multi-jet	Francis
Orta Düşü (15 -50 m)	Michell-Banki Turgo Multi-jet Pelton	Kaplan Francis (Salyangozlu)
Düşük Düşü (<15 m)	Michell-Banki	Francis (Açık su odalı) Kaplan Propeller

3.2.1. Yüksek Basınç (Reaksiyon) Türbinleri

Yüksek basınç türbinlerine Francis ve Kaplan tipi hidrolik türbinler girmektedir. Bu tip türbinlerde, türbin rotoru kanatlarının aralıklarında suyun giriş basıncında bir düşme meydana gelir ve su basıncında meydana gelen bu düşme, suyun ivmelenmesini sağlar.

Francis tipi hidrolik türbinler $H = 2$ metre ile 600 metre hidrolik düşüler ne $N = 2$ kW ile 800000 kW güçler arasında imal edilmektedirler. Kaplan tipi hidrolik türbinler ise; $H = 2$ metre ile 60 metre hidrolik düşüler ve $N = 2$ kW ile 500000 kW güçler arasında imal edilmektedir. Bir Francis tipi hidrolik türbinin, imalatı esnasında çekilmiş fotoğrafı aşağıda ki Şekil 3.2’de verilmiştir. Şekil 3.3’de ise Kaplan tipi bir hidrolik türbin rotorunun fotoğrafları gösterilmiş bulunmaktadır.



Şekil 3.2. Francis tipi hidrolik türbin fotoğrafı

Yüksek basınç türbinleri tamamen su içerisinde bulunan ayar kanatları ve çarktan oluşurlar. Su bir kanaldan alınır ve bir salyangoz üzerinden sevk edilir.

Hidrolik akım ana denklemlerinden Bernoulli'ye göre; yüksekteki bir su bir boru vasıtasıyla aşağı doğru akıyor ve üst su ile alt su seviyesi arasında z yüksekliği varsa, akan sıvının toplam yüksekliği aşağıdaki eşitlik (3.3) ile belirlenir [23].

$$H = z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{c_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{c_2^2}{2g} = \text{sabit (m)} \quad (3.3)$$

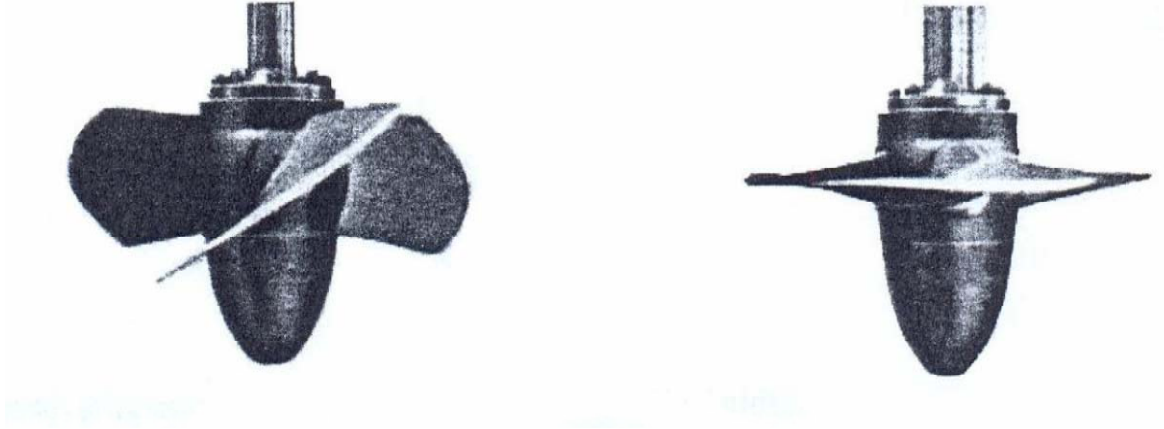
Yüksek basınç türbinlerinde enerji değişimi ayar (yöneltici) kanatları ve döner çark içerisinde olur. Yöneltici kanatlara c_0 ilk hızı ile giren su;

$$z_0 + \frac{P_0}{\rho g} + \frac{c_0^2}{2g} \quad (3.4)$$

enerjisini ihtiva eder. Su yöneltici kanatların çıkışında c_1 hızına ulaşır. Çıkıştaki enerji;

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{c_1^2}{2g} \quad (3.5)$$

kadardır. İlk olarak burada toplam düşünün bir kısmı kullanılır. Kanatların çıkış kesitleri uygun bir açı altında giriş kesitinden daha daralmaktadır. Süreklilik denkleminde hız c_0 hızından c_1 hızına yükselecektir.



Şekil 3.3. Kaplan tipi bir türbinin rotor kanatları açık ve kapalı konumlardaki fotoğrafları

3.2.2. Eş Basınç (Aksiyon) Türbinleri

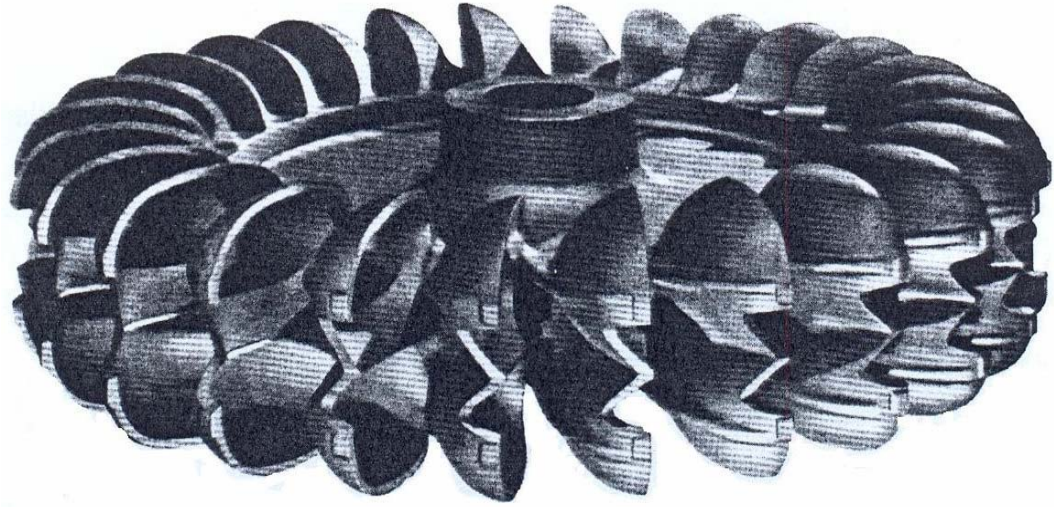
Eş basınç türbinlerine Pelton tipi hidrolik türbinler ve Michell-Banki tipi özel türbinler girmektedir. Eş basınç türbinleri açık hüzmeli türbinleri olarak da adlandırılırlar. Çünkü su debisi lüleden çıkış arasında atmosfer basıncının etkisindedir. Toplam yerel yükseklik enerjisi ve basınç enerjisi türbin çarkına girişte hız enerjisine dönüşür.

Pelton tipi hidrolik türbinlerde düze memesinden fışkıran su, Şekil 3.4’de görülen Pelton çarkının çevresindeki kepçelere teğetsel olarak çarpar. Bu çarpma ile suyun kinetik enerjisi mekanik işe dönüşmüş olur ve böylelikle türbin rotoru döner. Türbin rotorunun çevresindeki kepçelere suyun çarptırılması bir veya birkaç Pelton düzesi ile yaptırılabilir. Genellikle küçük güçlü Pelton tipi hidrolik türbinlerin 1 veya 2 düzesi olmasına karşın büyük güçlü Pelton tipi hidrolik türbinlerin 4 veya 6 düzesi bulunur.

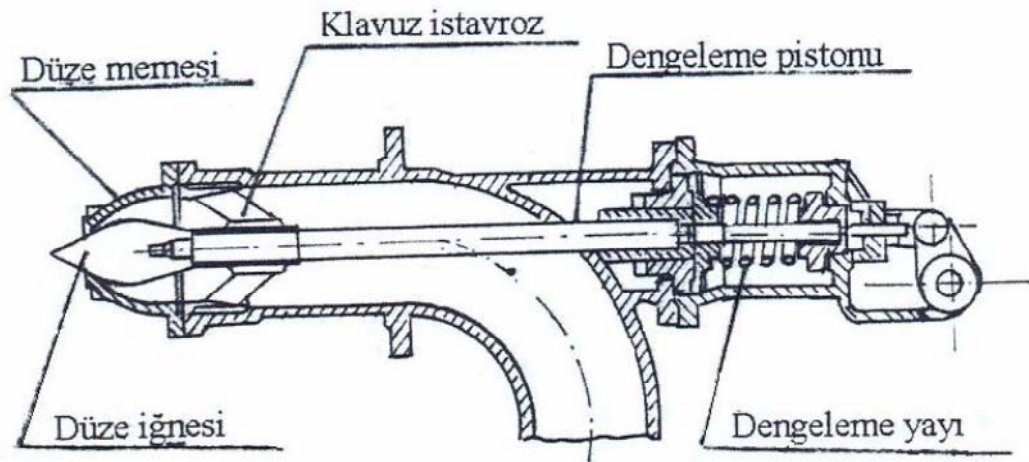
Pelton tipi türbinlerde düşü, üst su seviyesi ile püskürtmenin yapıldığı lülenin merkezi arasındaki yüksekliktir. Oysa yüksek basınç türbinlerinde düşü üst su seviyesi ile alt su seviyesi arasındaki yüksekliktir. Pelton türbinlerinde çarkın altındaki kısım serbest düşme

mesafesi olarak adlandırılır. Serbest düşme mesafesi mümkün mertebe kısa olmalıdır ki, düşüden maksimum şekilde faydalanılabilsin.

Pelton tipi hidrolik türbinler $H = 60$ metre ile 1000 metre hidrolik düşüler arasında ve $N = 2$ kW ile 300000 kW arasında güçler için imal edilmektedir. Şekil 3.4’de Pelton tipi bir hidrolik türbinin fotoğrafı gösterilmiş bulunmaktadır. Şekil 3.5’de ise rotor kepçelerine su fişkirtan Pelton düzesinin basit bir prensip şeması gösterilmiştir [23].

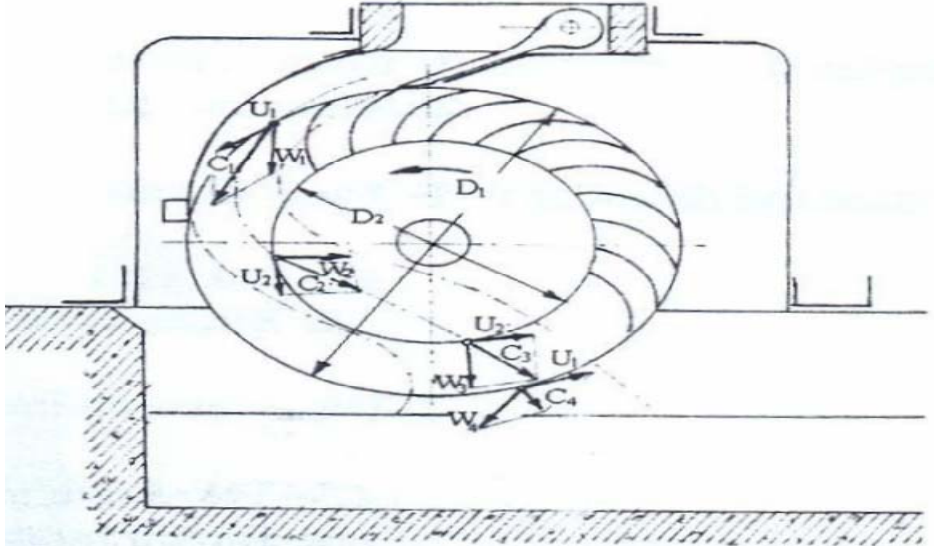


Şekil 3.4. Pelton tipi bir hidrolik türbin rotoru fotoğrafı



Şekil 3.5. Pelton tipi hidrolik türbine ait nozul

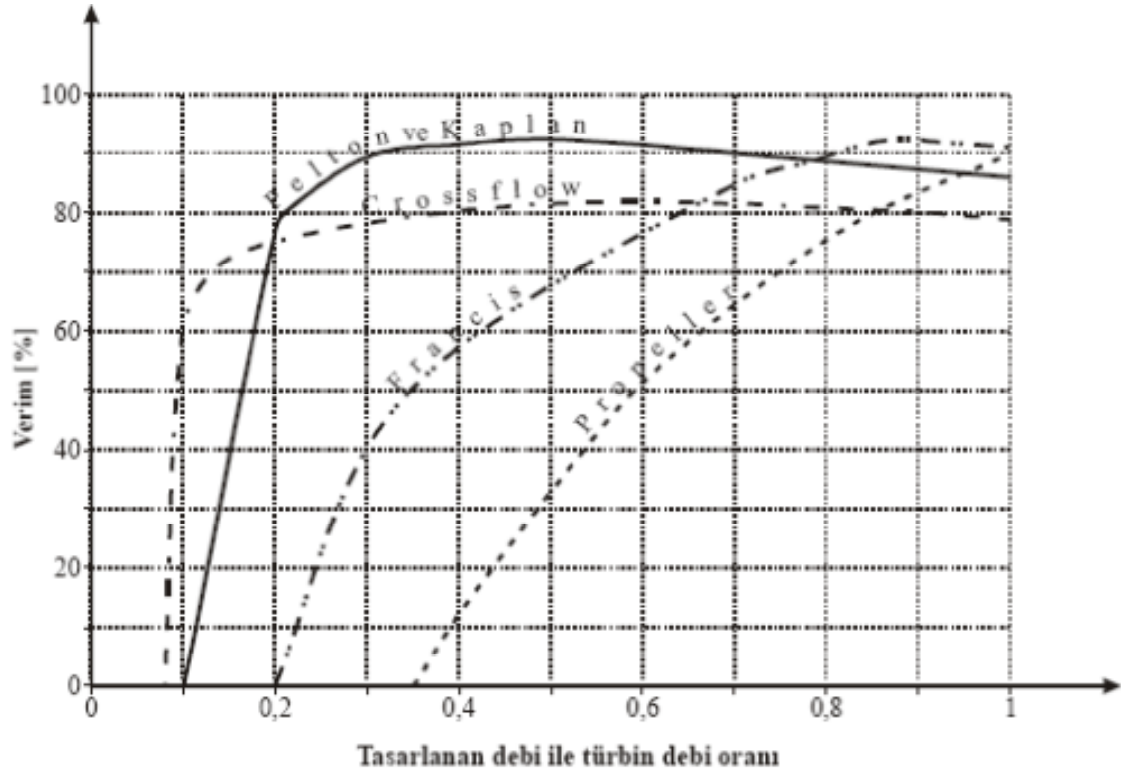
Michell-Banki tipi özel türbinlerin ise kullanıma sahası çok dar olup, ancak değişken debili ve küçük güçlerde kullanıma imkanı bulunabilmektedir. Şekil 3.6’da Michell-Banki tipi bir özel türbinin prensip şeması görülmektedir.



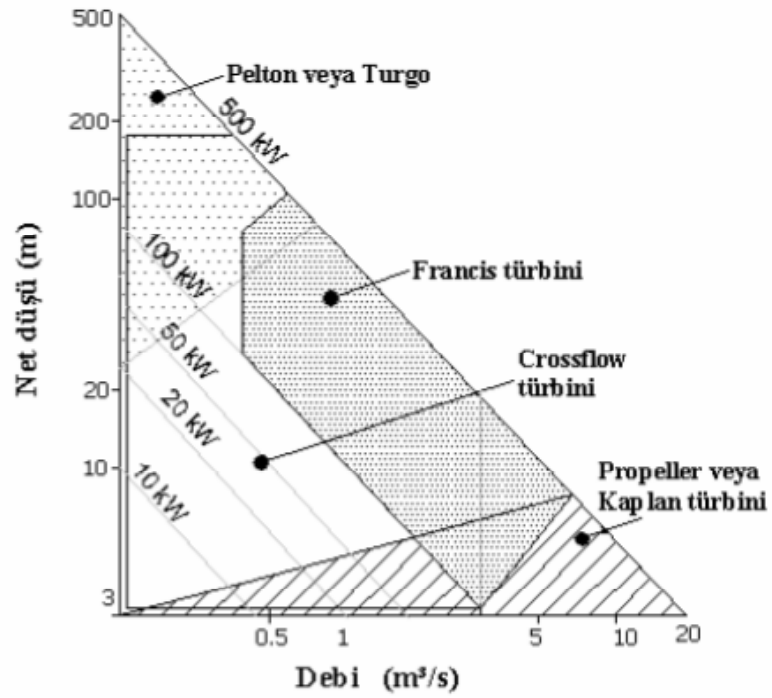
Şekil 3.6. Michell-Banki tipi bir özel türbinin şeması

Hidrolik santrallerde türbin seçimi, düşü miktarına bağlıdır. Ayrıca sistemin ulusal enterkonnekte sistemine (UCTE) bağlı olarak çalışması veya sadece yerel bir sistemi beslemesi, türbin seçimini etkiler. Türbin seçimi toplam enerji verimi üzerinde de oldukça etkilidir. Bir HES’de yapılan çalışmada, türbin veriminin %1 artırılmasının, toplam santral kazancında yaklaşık %1.5 oranında bir artışa neden olduğu saptanmıştır [24].

Aşağıdaki Şekil 3.7’de çeşitli türbinlere ait verim-debi karakteristikleri, Şekil 3.8’de ise küçük HES’ler için türbin düşü-debi abağı verilmiştir. Enerji üretilecek barajın net düşü yüksekliği ve debisi bilindiği takdirde, Şekil 3.8’deki abak kullanılarak santral için uygun türbin tipi ve gücü bulunabilir.



Şekil 3.7. Küçük su türbinlerinde debi-verim ilişkisi



Şekil 3.8. Küçük HES'ler için türbin düşü-debi abağı [3].

3.3. Hidrolik Türbin Verimliliği

Bir hidrolik sistemde güç kayıpları olduğundan, sistemin giriş gücü ile çıkış gücü birbirine eşit değildir. Çıkış gücünün, giriş gücüne oranı sistemin verimini tanımlar.

Makinaların tümünde olduğu gibi, hidrolik türbinlerinde belirli işletme bölgelerinde ve belirli işletme koşullarında en yüksek verimle çalışmaları gerekmektedir. Hidrolik türbinlerin mümkün olabilen en yüksek verimle çalışmaları için enerji kayıplarının ve kayıp düşülerinin küçük tutulması gerekir. Hidrolik türbin verimi (η) genel olarak (3.6) eşitliğindeki gibi ifade edilir.

$$\eta = \frac{A}{E} = \frac{\text{Türbinden alınan kullanılabilir iş}}{\text{Türbine verilen enerji}} \quad (3.6)$$

Hidrolik türbinlerde iç kayıplar, dış kayıplar ve türbinlerin aşırı yüklerde veya düşük yüklerde çalıştırılmaları nedeniyle büyük enerji kayıpları meydana gelebilir. Meydana gelen bu kayıpların büyüklüğüne, türbinin büyüklüğü, tipi ile orijinal proje biçimi ve imalatı büyük ölçüde etki eder [25].

Bir hidroelektrik santralin genel verimi ise, aşağıdaki (3.7) eşitliğiyle hesaplanmaktadır:

$$\eta_{\text{santral}} = \frac{P_a}{P_h} = \frac{\text{Alınan Elektriksel Güç}}{\text{Hidrolik Güç}} \quad (3.7)$$

Bu bağıntıda; P_a elektriksel güç, P_h ise hidrolik güçtür. Elektriksel güç generatörün çıkışından doğrudan ölçülebilir. Bundan dolayı trafo kayıplarının hesaba katılması gerekmez.

Hidrolik güç P_h ise aşağıdaki eşitlik (3.8) ile bulunabilir [23].

$$P_h = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H_n \quad [\text{W}] \quad (3.8)$$

Net düşü (H_n); p_i , ölçülen giriş basıncı, p_0 , ölçülen çıkış basıncı olmak üzere suyun aktığı alan (A) ve yükseklik (Z) parametrelerine de bağlı olarak eşitlik (3.9) ile hesaplanır.

$$H_n = Z + \left(\frac{p_i}{\rho \cdot g} + Z_1 \right) - \left(\frac{p_0}{\rho \cdot g} + Z_2 \right) + \frac{\frac{Q^2}{A_i^2} - \frac{Q^2}{A_0^2}}{2 \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (3.9)$$

Yükseklik farkı (Z) aşağıdaki eşitlik (3.10) ile hesaplanır.

$$Z = Z_i - Z_0 \quad [\text{m}] \quad (3.10)$$

Burada; Z_i türbin giriş seviyesi, Z_0 ise türbin çıkış seviyesidir.

3.3.1. Verimliliği Etkileyen Parametreler

3.3.1.1. 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 [23].

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.

$$Q_i = Q - Q_\sigma = (1 - Q_\sigma / Q) \quad (3.11)$$

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-generator 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 [24].

$$\sigma_n = \frac{Q_\sigma}{Q_n} \cong 0.01 - 0.04 \quad (3.12)$$

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, yön 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 iç 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 değişimlerinde sınır tabakasının kalınlığı artmakta ve sınır tabakasında çözümler meydana gelmektedir. Sınır tabakasındaki çözümler, 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 kullanılamayacak 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 (3.13) bağıntısıyla bulunur [24].

$$m_1 = \eta_s \cdot C_2^2 / 2g \quad (3.13)$$

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.

$$\begin{aligned}
h_{va} &= \frac{C_a^2}{2g} \\
&= \frac{C_2^2}{2g} - \eta_s \cdot \frac{C_2^2}{2g} \\
&= (1 - \eta_s) \cdot \frac{C_2^2}{2g}
\end{aligned} \tag{3.14}$$

3.3.1.2. 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 (3.15) eşitliği ile hesaplanır [23].

$$L_R = k.n^3.D_I^5 \tag{3.15}$$

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 ulaşılabilirdiği görülmüştür. İşletme şartlarına göre ortalama %1-3 değişim gösteren generatör ve trafo verimlerine göre %40 - %50 mertebesinde değişim gösterebilen türbin verimleri daha önemlidir [23].

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 [24].

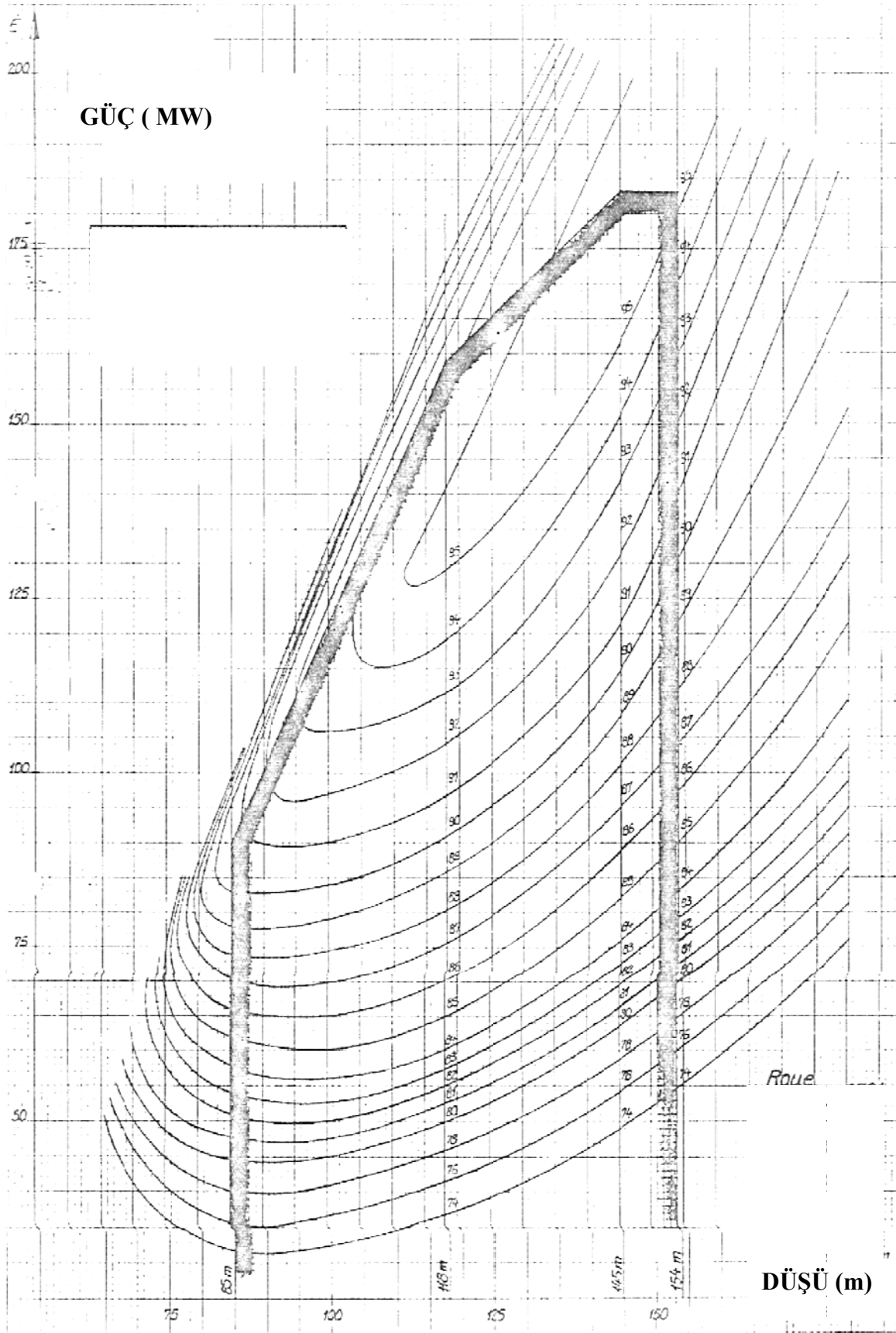
Münferit türbin verimini etkileyen unsurlardan biri de çark açıklıkları olarak da adlandırılan türbin dönme boşluklarıdır. Bu boşlukların aşınma, erozyon ve korozyon gibi sebeplerle büyümesi sızıntı ve kaçakların artmasına neden olup türbin verimini düşüreceğinden bunu engellemek için uygun periyotlarla 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 [25].

3.3.1.3. 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. Keban HES'e ait türbin verimlilik dağ eğrisi Şekil 3.9'da 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 santralların 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.



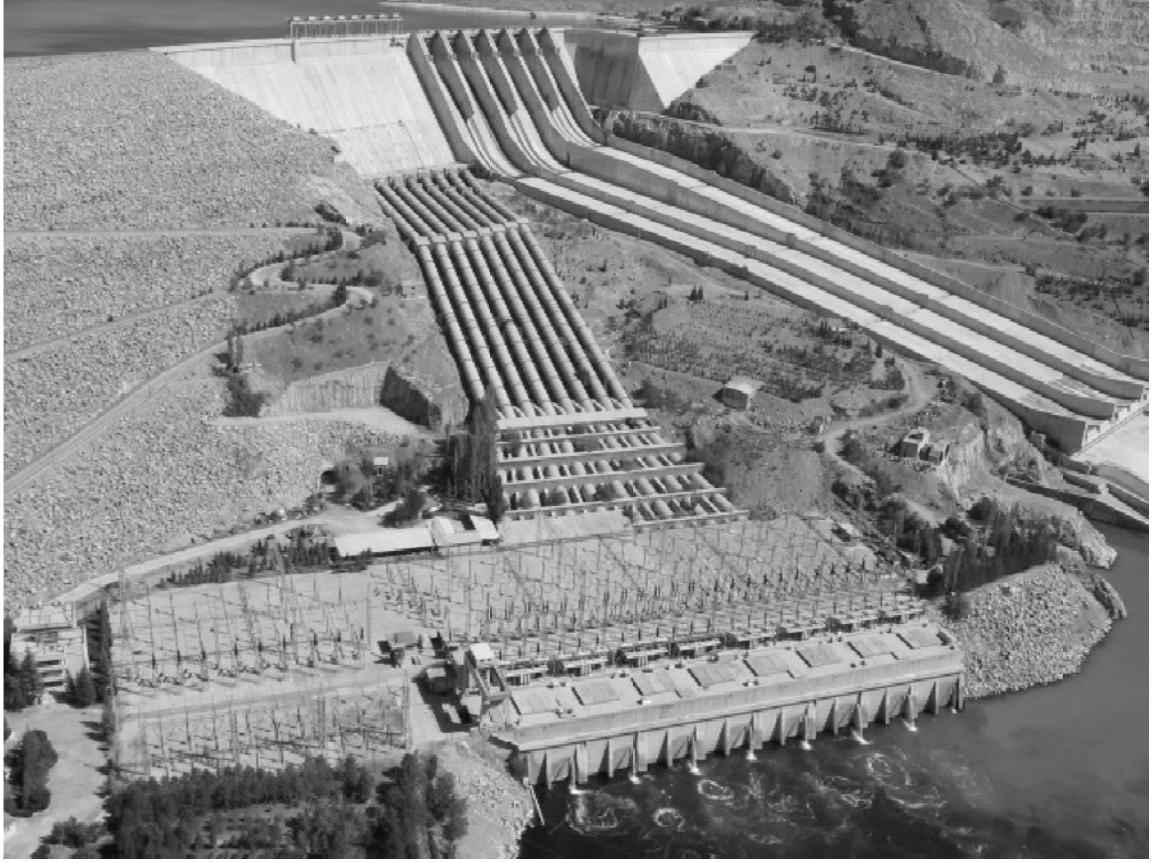
Şekil 3.9. Keban HES'e ait türbin verimlilik dağ eğrisi [29].

3.4. Keban Hidroelektrik Santrali

Ön çalışmaları 1936'lara kadar uzanan ve derivasyon tünelleri ile 1965 yılında fiilen yapımına başlanan Keban Barajı "Kaya Dolgu" ve "Beton Ağırlık" yapılarını içine alan karma bir yapıdır. Keban HES'in 8 ünitesinin devreye girmesi ile yılda ortalama 6.5 milyar kilowatt saat enerji üretmektedir. Bu büyüklükte üretim, hizmete girdiği tarihte üretilen toplam hidroelektrik enerjiyi üç katına çıkarmış ve ülkemizde üretilen toplam enerji içerisinde hidrolik kaynakların payı %45'e yükseltmiştir. Diğer bir deyimle Keban HES yılda takriben 3 milyon ton Fuel-oil ile üretebilecek enerjiye denk bir üretim sağladığından, bu miktar akaryakıtın ithaline ve bedeli olan dövizin dışa gitmesine engel olmaktadır [29].

Keban HES'in kaynağı olan Fırat nehri, Doğu Anadolu'nun deniz seviyesinden 3.000 metre yüksekliğindeki dağlık araziden doğan Murat, Munzur, Karasu ve Peri sularının birleşmesinden meydana gelmiştir. Fırat Nehri, yılın muhtelif zamanlarında çok farklı bir akım rejimine sahiptir. Ortalama debi $635 \text{ m}^3/\text{s}$, kış aylarında $200\text{-}300 \text{ m}^3/\text{sn}$, feyezan mevsimi olan Nisan ve Mayıs aylarında ise $2000\text{-}5000 \text{ m}^3/\text{s}$ arasında değişmektedir. Baraj yeri Elazığ'ın 45 km kuzey batısında olup, Keban HES gölü 125 km uzunluğunda, 680 km^2 alanında ve 29.4 milyar m^3 hacminde Türkiye'nin ikinci büyük suni gölü durumundadır.

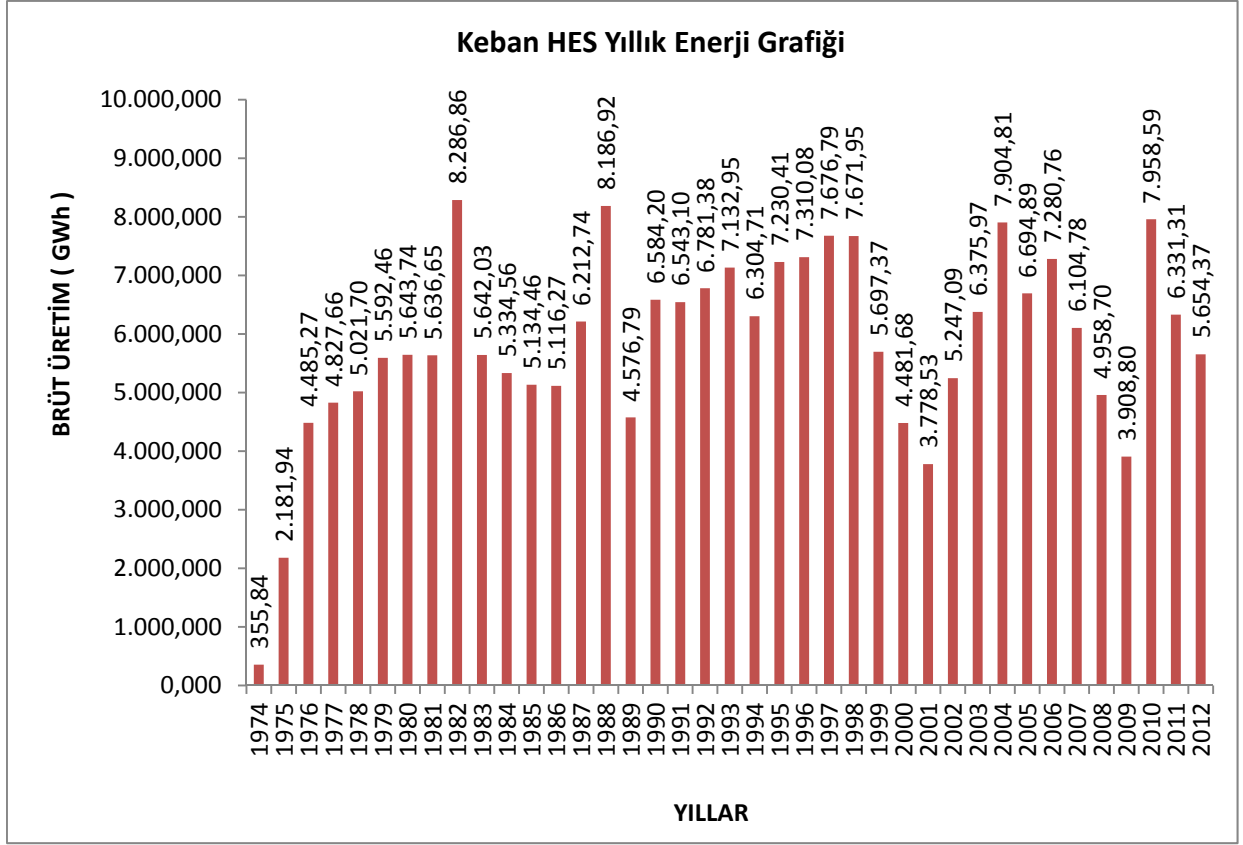
Keban HES, $4 \times 157.5 \text{ MW} + 4 \times 172.5 \text{ MW}$ olmak üzere toplamda 1.320 MW kurulu güce sahip olup, Atatürk ve Karakaya HES'den sonra kurulu güç bakımından Türkiye'nin üçüncü büyük hidroelektrik santralidir. Şekil 3.10'da santral ve baraj gölünden bir görünüşü verilen Keban HES'in, baraj gövdesi yüksekliği nehir tabanı seviyesinden 167 m, temel seviyesinden ise 211 m'dir [29].



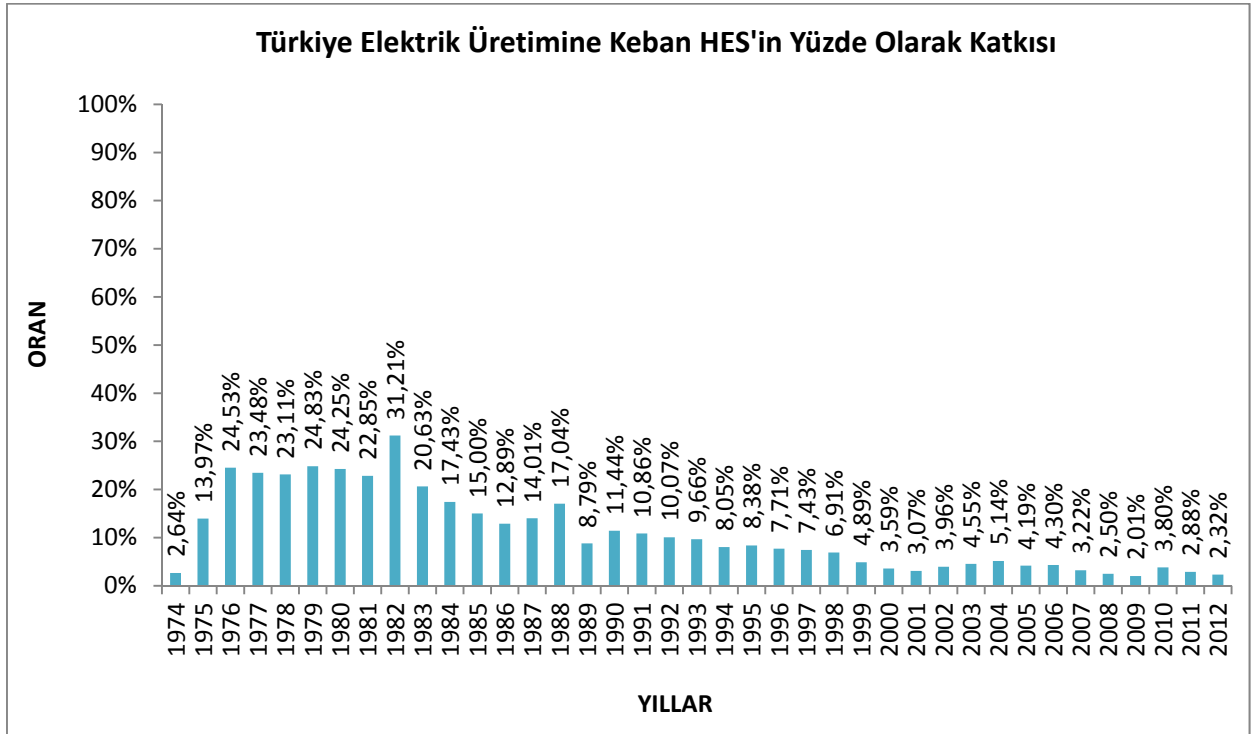
Şekil 3.10. Keban hidroelektrik santralinden bir görünüş

1974 yılında ilk ünitenin devreye girmesiyle Keban HES, o günden bugüne Türkiye elektrik üretimine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Şimdiye kadar yapılan maksimum üretim 1982 yılında 8286.86 GWh, minimum üretim ise 2001 yılında 3778.53 GWh olarak gerçekleşmiştir. Keban HES'in kuruluşundan bugüne kadar üretmiş olduğu enerji miktarı aşağıdaki Şekil 3.11'de, Türkiye elektrik üretimine olan katkısı ise Şekil 3.12'de gösterilmiştir [29].

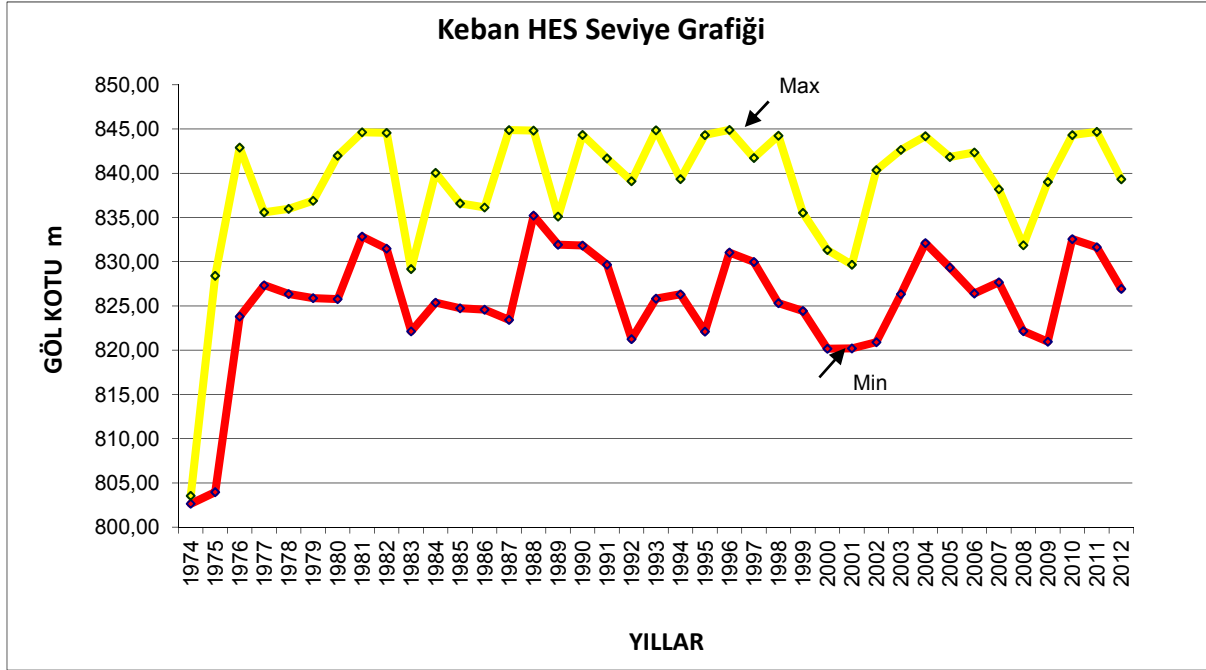
Fırat havzasının başlangıcı olarak kabul edilen Keban HES'in, yıllara göre maksimum ve minimum göl kotları Şekil 3.13'de, santral havzasına gelen su – enerjiye sarf edilen su – üretilen enerji miktarları ise Şekil 3.14'de verilmiştir [29].



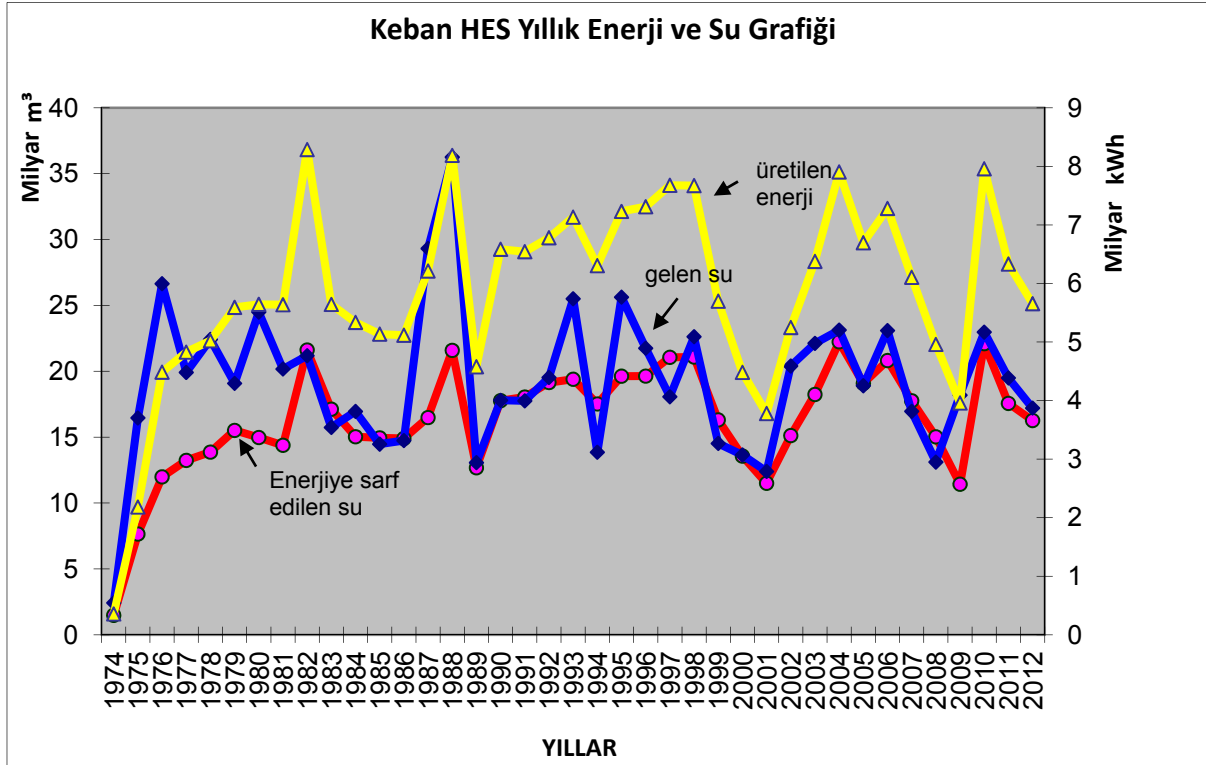
Şekil 3.11. Keban HES yıllık ürettiği enerji miktarı



Şekil 3.12. Keban HES'in Türkiye elektrik üretimine yüzde olarak katkısı



Şekil 3.13. Keban HES maksimum ve minimum göl kotu değerleri



Şekil 3.14. Keban HES yıllara göre gelen su - enerjiye sarf edilen su – üretilen enerji miktarları

3.5. Karakaya Hidroelektrik Santrali

Diyarbakır ilinin, Ergani ilçesinin, Ergani-Çermik-Çüngüş yönünde ve Diyarbakır-Elazığ karayoluna 85 km mesafede tesis edilmiş olan Karakaya HES, 1800 MW kurulu gücünde olup, günde 21 milyon kWh olmak üzere yılda 7.5 milyar kWh elektrik enerjisi üretim kapasitesindedir. Santralde üretilen enerji 380 kV' luk Keban 1, Keban 2, Atatürk, Diyarbakır ve 154 kV' luk Kahta, Siverek, Elazığ, Diyarbakır hatlarıyla enterkonnekte sistemine aktarılmaktadır. Kurulu güç bakımından Atatürk HES'den sonra Türkiye'nin 2. büyük hidroelektrik santralidir.

Şekil 3.15'de santral ve baraj gölünden bir görünüşü verilen Karakaya HES'in baraj gövdesi 225 m yarıçaplı beton kemer ağırlık tiplidir. Dolu kret uzunluğu 462 m ve beton hacmi ise 2 milyon metreküptür [30].

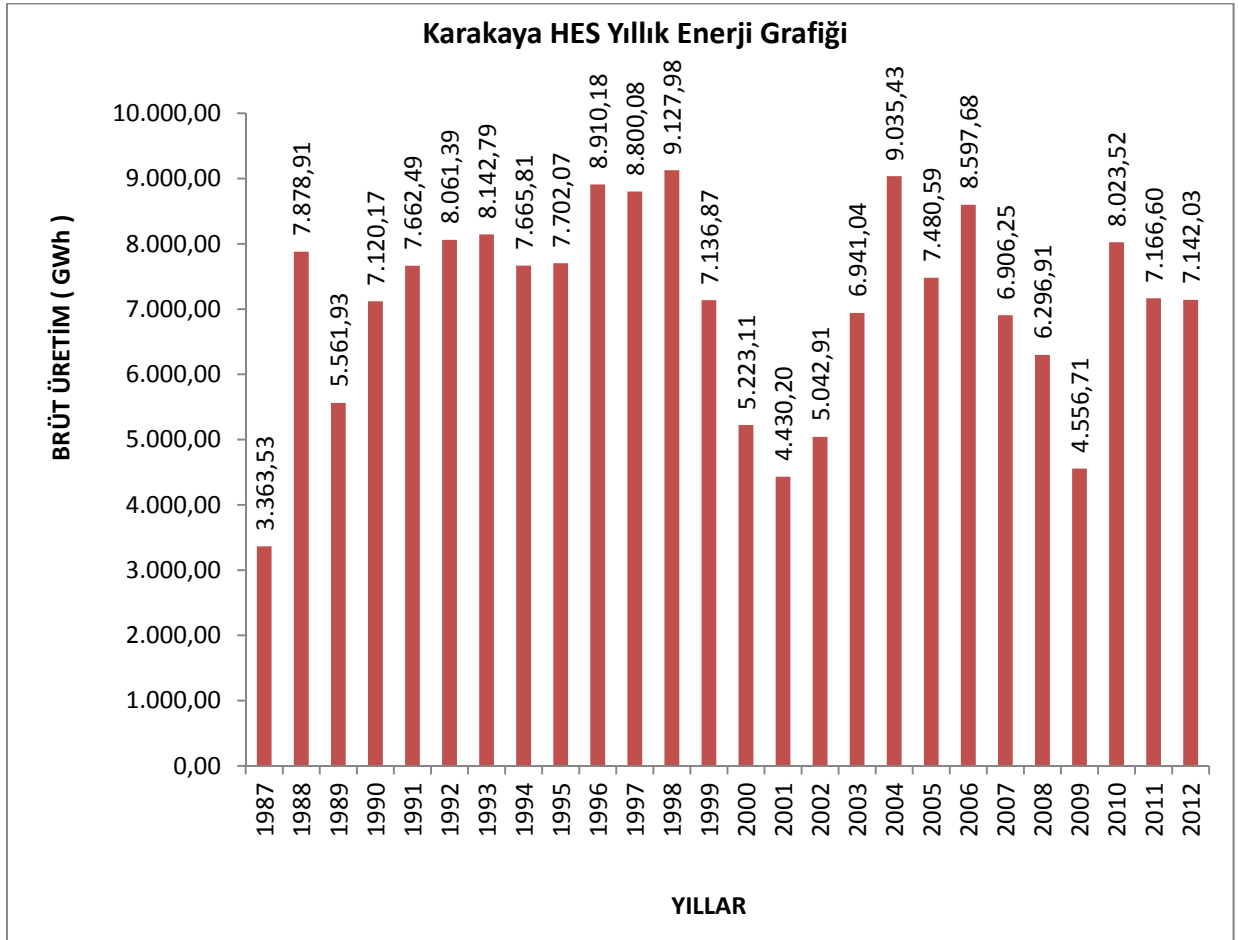


Şekil 3.15. Karakaya hidroelektrik santrali ve baraj gölünden bir görünüş

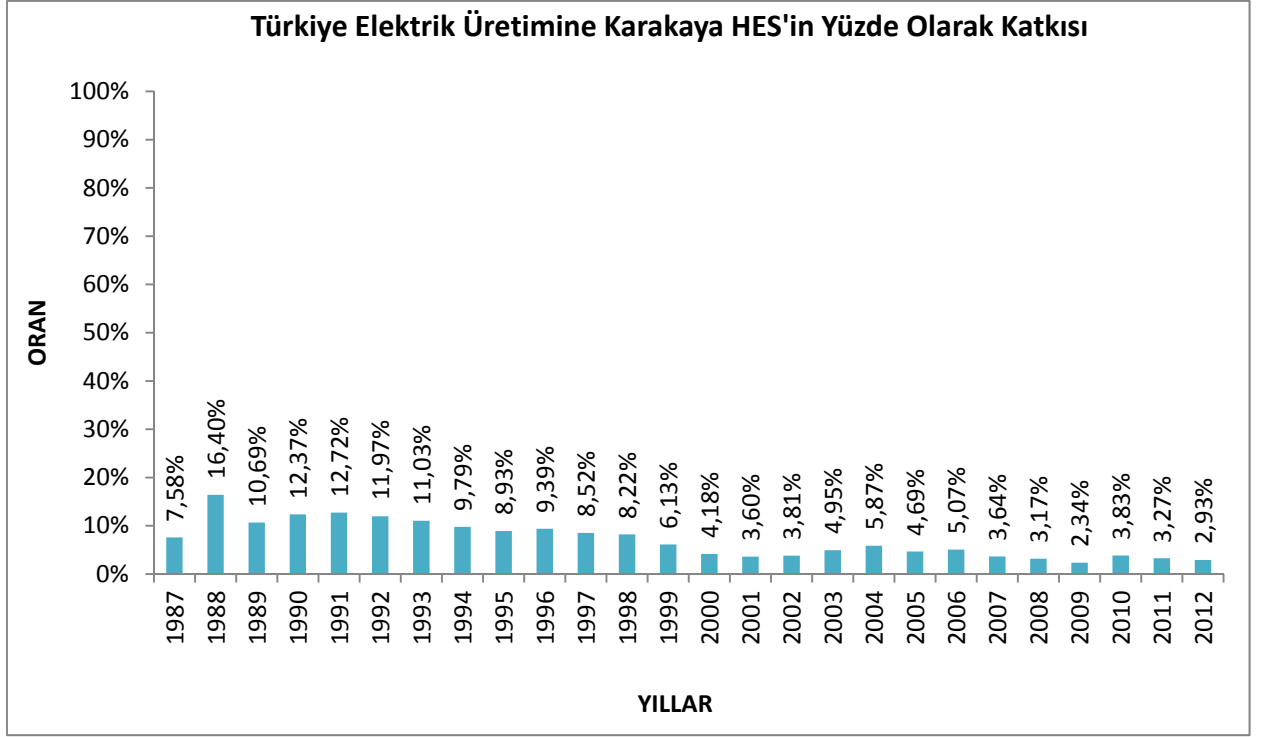
1987 yılında ilk ünitenin devreye girmesiyle Karakaya HES, Türkiye elektrik üretimine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Şimdiye kadar yapılan maksimum üretim 1998 yılında 9127.98 GWh, minimum üretim ise 2001 yılında 4430.20 GWh olarak gerçekleşmiştir.

Karakaya HES'in kuruluşundan bugüne kadar üretmiş olduğu enerji miktarı aşağıdaki Şekil 3.16'da, Türkiye elektrik üretimine olan katkısı ise Şekil 3.17'de gösterilmiştir [30].

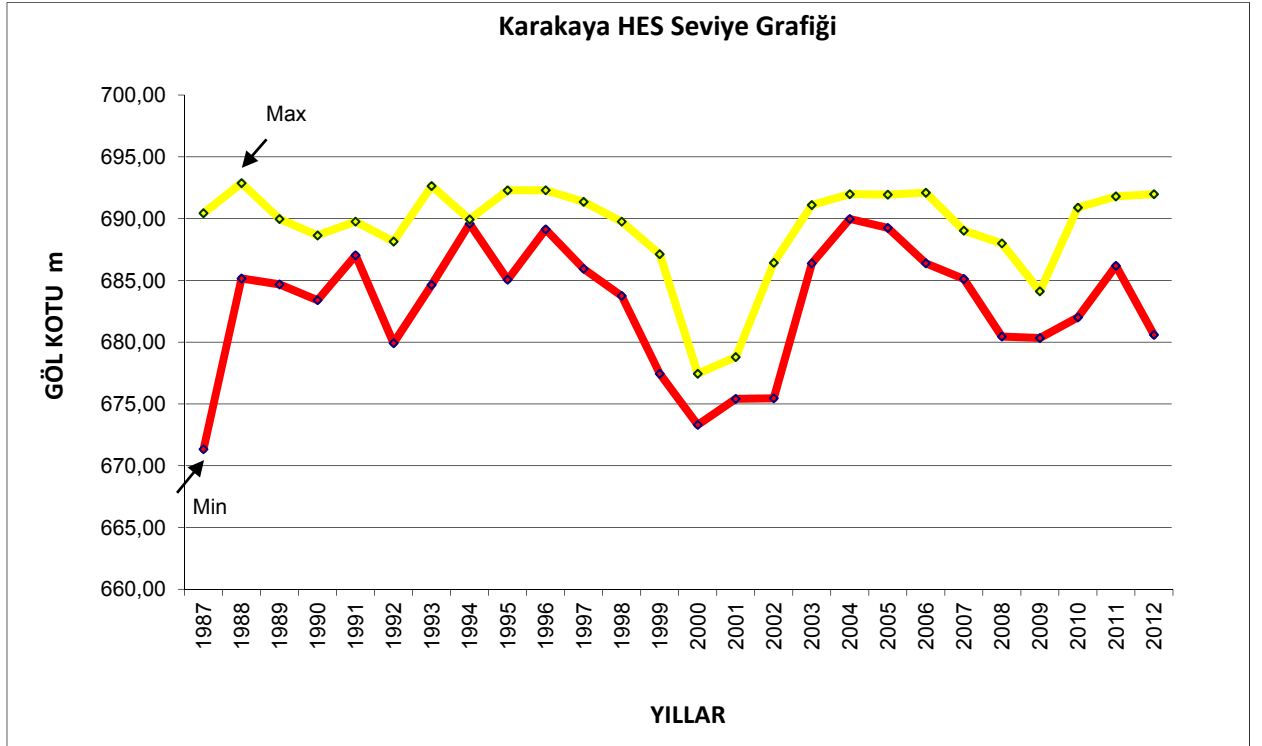
Göl havzasının dar ve kısa zamanda üretimle azalabilen Karakaya HES'in, yıllara göre maksimum ve minimum göl kotları Şekil 3.18'de, santral havzasına gelen su – enerjiye sarf edilen su – üretilen enerji miktarları ise Şekil 3.19'da verilmiştir [30].



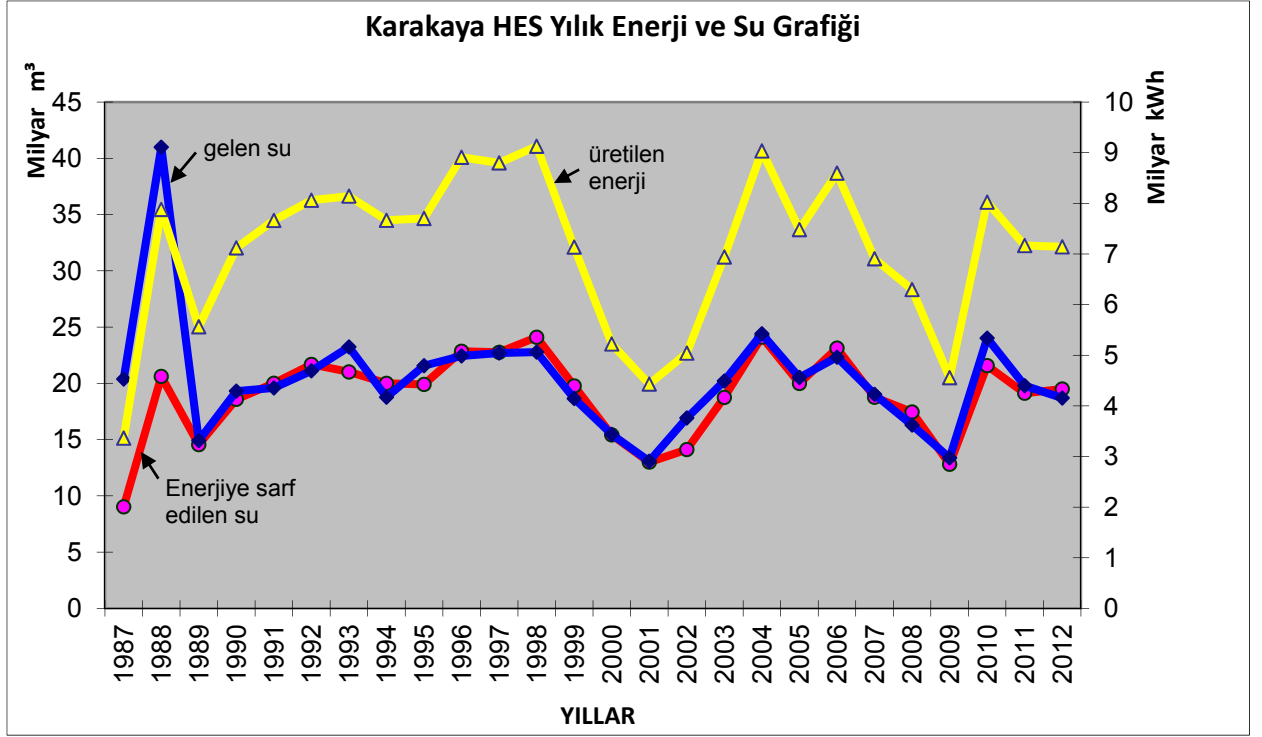
Şekil 3.16. Karakaya HES yıllık ürettiği enerji miktarı



Şekil 3.17. Karakaya HES'in Türkiye elektrik üretimine yüzde olarak katkısı

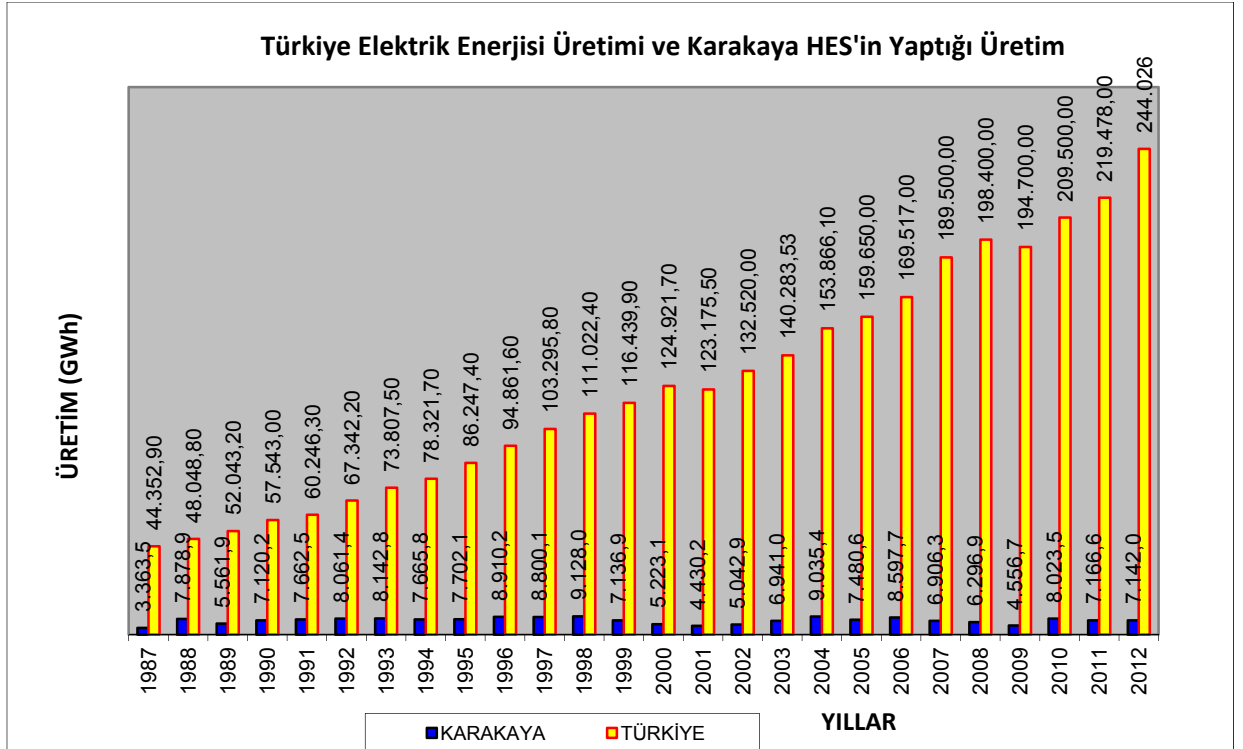


Şekil 3.18. Karakaya HES maksimum ve minimum göl kotu değerleri



Şekil 3.19. Karakaya HES yıllara göre gelen su - enerjiye sarf edilen su – üretilen enerji miktarları

Karakaya HES’in ilk üretime geçtiği 1987 yılından itibaren, Türkiye’de üretilen toplam elektrik enerjisi miktarı ile Karakaya HES’in ürettiği elektrik enerjisi miktarı aşağıdaki Şekil 3.20’de grafiksel olarak gösterilmiştir [1,30].



Şekil 3.20. Türkiye elektrik enerjisi üretimi ve Karakaya HES’in yaptığı üretim miktarı

4. AKILLI SİSTEMLER

4.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay Sinir Ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler üretebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. YSA; insan beyninin çalışma mekanizmasını taklit edilerek geliştirilen mantıksal bir programlama tekniğidir. YSA bilgisayar ortamında beynin yaptığı işleri yapabilen, karar veren, yetersiz veri durumunda var olan mevcut veriyi kullanarak bir sonuca ulaşan, öğrenen bir tür algoritmadır.

Yapay sinir ağları, insanlar tarafından gerçekleştirilmiş gerçek beyin fonksiyonlarının ürünü olan örnekleri kullanarak olayları öğrenebilen, çevreden gelen olaylara karşı nasıl tepkiler üretileceğini belirleyen bilgisayar sistemleridir. İnsan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde,

- Öğrenme
- İlişkilendirme
- Sınıflandırma
- Genelleme
- Özellik belirleme
- Optimizasyon

gibi konularda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

YSA, günümüzde birçok probleme çözüm üretebilecek yeteneğe sahip olup, farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Tanımların ortak birkaç noktası vardır. Bunların en başında yapay sinir ağlarının birbirine hiyerarşik olarak bağlı ve paralel olarak çalışabilen yapay hücrelerden oluşmaları gerekmektedir. Proses elemanları denen bu hücrelerin birbirine bağlandıkları ve her bağlantının bir diğerinin olduğu kabul edilmektedir. Bilginin öğrenme yolu ile elde edildiği ve işlem elemanlarının bağlantı değerlerinde saklandığı dolayısıyla dağıtık bir hafızanın olduğu da ortak noktaları oluşturmaktadır [26].

İlk olarak modern anlamda YSA modelinin 1943 yılında, bir sinir doktoru olan Warren McCulloch ile bir matematikçi olan Walter Pitts tarafından gerçekleştirildiği

görülmektedir. McCulloch ve Pitts, insan beyninin hesaplama yeteneğinden esinlenerek, elektrik devreleriyle basit bir sinir ağını modellemişlerdir. 1949'da ise Hebb Sinapsi "Organization of Behavior" isimli kitabında, öğrenme ile ilgili temel teoriyi ele almıştır. Azeri bilim adamı Loutfi A. Zadeh'in 1965 yılında Fuzzy Sets'lerle duyurduğu BM teorisinde problem çözerken insanın düşünüş tarzını esas almıştır. Zadeh geliştirdiği bulanık set teorisi ve matematik formülasyonu ile klasik mantığın aksine, yeni gelişmelerin habercisi olmuştur. Halen en çok kullanılan ağ mimarisi Rumelhart tarafından 1986 yılında geliştirilen ileri beslemeli geri yayılma algoritmasıdır. Bu algoritma güçlü olmakla birlikte oldukça karmaşık matematik esaslara dayanmaktaydı. Ayrıca bu algoritmanın etkin bir öğrenmeyi mümkün kılma yeteneği dikkatleri tamamen üzerine çekmekti. Bu çalışmayla, YSA alanında bir çığır açılmış bugün halen en çok kullanılan algoritma olan geriye yayılım algoritması, hatayı minimize etmeye yönelik ağırlıkların çıkıştan girişe doğru ayarlanması esasına dayanmaktadır. Günümüzde genetik algoritma uygulamaları üzerine yazılan klasik kitap 1989 yılında yayınlanan Goldberg'e aittir. Her geçen gün değişik öğrenme algoritmaları ve ağ mimarileri hakkında yeni çalışmalar yapılmaktadır [4].

4.1.1. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

Yapay sinir ağlarının karakteristik özelliklerine uygulanan ağ modeline göre değişmektedir. Tüm modeller için geçerli olan genel karakteristik özellikler aşağıdaki gibidir [26].

- Yapay sinir ağları örnekleri kullanarak öğrenirler.
- Bilgilerin saklanması sağlanmaktadır.
- Yapay sinir ağları makine öğrenmesi gerçekleştirirler.
- Programları çalışma stili bilinen programlama yöntemlerine benzememektedir.
- Görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler.
- Yapay sinir ağlarının güvenle çalıştırılabilmesi için önce eğitilmeleri ve performanslarının test edilmesi gerekir.
- Örüntü ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler.
- Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler.
- Örüntü tamamlama gerçekleştirebilirler.
- Eksik olan bilgi ile çalışabilmektedirler.
- Hata toleransına sahiptirler.

- Kendi kendini organize etme ve öğrenebilme yetenekleri vardır.
- Belirsiz, tam olmayan bilgileri işleyebilirler.
- Dağıtık belleğe sahiptirler.
- Dereceli bozulma gösterirler.
- Sadece nümerik bilgiler ile çalışabilmektedirler.

4.1.2. Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları

Yapay sinir ağı yöntemleri yüksek eğitim, araştırma, endüstri, ve teknolojik gelişmeler için bulanık mantık ve genetik algoritma yöntemleri ile beraber çok başarılı sonuçlar vermişlerdir. YSA uygulamalarının başarı ile yapılabilmesi için, esaslarının ve çalışma işleyişlerinin mutlaka çok iyi anlaşılmış olması gerekmektedir. YSA'nın günümüzde birçok kullanım alanı mevcut olup, bunları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

- Üretim planlaması ve çizelgeleme
- Sınıflandırma
- Vektör sayısallaştırma
- Ürünün satıştaki performansını takip etme
- Kümeleme
- Beyin modellemesi çalışmaları
- Desen uygunluğu
- Fonksiyon yaklaşımı
- Tahminlerde bulunmak
- Arama çalışmaları
- Kontrol sorunları
- Optimizasyon

Bunların yanı sıra YSA günümüzde, arıza analizinde (elektrik makinaların vb. elemanların arıza analizleri ve tespitinde), tıp alanında (kalp fonksiyonları, kanserli hücreleri analizi, protez tasarımı ve hastane giderlerin optimizasyonu), savunma sanayinde (silahların otomasyonu, hedef izleme ve gürültü önleme), haberleşmede (konuşmaların

gerçek zamanda çevirisi, otomatik bilgi sunma, görüntü ve veri sıkıştırma), üretimde (üretimlerin analizi ve tasarımı, ürün sistemlerinin optimizasyonu, planlama ve yönetim analizi), otomasyon ve kontrolde (ulaşım araçlarında otomatik yol bulma ve gösterme, robot sistemlerin kontrolü, uçaklarda otomatik pilot sistemi kontrolü, elektrikli sürücü sistemlerin kontrolü) çok yaygın olarak kullanılmaktadır [27].

4.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Avantajları ve Dezavantajları

Günümüzde kullanım alanı oldukça artan yapay sinir ağlarının avantajlarını aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür:

- Dünyadaki olaylar ve olayların arkasındaki değişik faktörlerin birbirleri ile ilişkilerini ve birbirlerinin üzerindeki etkilerini bilmek zordur. YSA'nın bu ilişkileri otomatik olarak örneklerden öğrenme yeteneği vardır. Kullanıcıların bu ilişkileri bilmesi ve ağa girdi olarak verme imkanı yoktur. Geleneksel yöntemlerde bu ilişkiyi belirlemek veya yok saymak gerekmektedir. YSA'nın en önemli avantajlarından biri bu özelliğidir.
- YSA kullanılarak problemleri başarılı bir şekilde çözebilmek için, problemin çok iyi modellenmesi gerekmektedir. Bu modelleme, problemleri çözebilmek için sadece söz konusu olay ile ilgili örneklerin belirlenip toparlanmasına yardımcı olacaktır. Örneklerin dışında herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç yoktur.
- YSA matematik olarak modellenmesi mümkün olmayan veya zor olan karmaşık problemleri çok rahat modelleyerek çözebilmektedir.
- YSA zaman bakımından daha çok verimli çalışmaktadırlar. Örneklerin bulunması, ağların oluşturulması, olayı öğrenmesi, gerçek zamanda kullanıma alınması çok kısa bir zaman diliminde mümkün olabilmektedir.
- YSA uygulamaları hem pratik hem de maliyet bakımından ucuzdur. Sadece örneklerin belirlenmesi ve basit bir program problemi çözmek için yeterli olabilmektedir.
- Yeni bilgilerin ortaya çıkması, ortamda bazı değişikliklerin olması durumunda yeniden eğitilebilirler. Bazı ağlarda ise eğitime gerek yoktur. Ağların kendisi ortama uyumu öğrenerek gerçekleştirebilirler.
- Paralel çalışabilmeleri onların gerçek zamanlı kullanımlarını kolaylaştırmaktadır.

Yapay sinir ağlarının avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da vardır. Bunları şöyle sıralayabiliriz:

- Probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi genellikle deneme yolu ile yapılmaktadır. Önemli bir dezavantaj olduğundan, problem için uygun bir ağ oluşturulamaz ise çözümü olan bir problem çözülemez veya düşük çözümlerin elde edilmesi söz konusu olabilir.
- Yapay sinir ağlarının donanım bağımlı çalışmaları önemli bir sorun olarak görülebilir. Ağların temel var oluş nedenlerinden birisi de paralel işlemciler üzerinde çalışabilmeleridir.
- Ağ eğitiminin gerçekleştirilmesi uzun zamanlar alabilmektedir.
- Yapay sinir ağının oluşturulmasında, model seçiminde, ağın tipinin belirlenmesinde bir kurallar seti yoktur. Kullanıcının tecrübesine bağlı olarak belirlenmektedir.
- Bazı ağlarda ise ağın parametre değerinin (öğrenme katsayısı vb.), her katmanda olması gereken işlem elemanı (yapay hücrelerin) sayısı, katman sayısı vb. belirlenmesinde bir kural olmaması da bir problem oluşturur.
- Ağın davranışlarını açıklamak mümkün değildir. Bu ise ağa güveni azaltmaktadır.
- Örneklerin bulunmasının güç olduğu durumlarda ve problemi doğru temsil eden örneklerin bulunmaması durumunda problemlere sağlıklı çözümler üretebilmek mümkün olamamaktadır [26].

4.1.4. Biyolojik Sinir Hücreleri

Biyolojik sinir ağları, beynimizde bulunan birçok sayıda sinir hücresinin bir koleksiyonudur. Bir sinir ağı, milyonlarca sinir hücresinin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Sinir hücreleri, birbirleri ile bağlanarak fonksiyonlarını yerine getirirler. Biyolojik sinir ağlarının performansları küçümsenmeyecek kadar yüksek ve karmaşık olayları işleyebilecek yetenektedir. Yapay sinir ağları ile bu yeteneğin bilgisayara kazandırılması amaçlanmaktadır.

Biyolojik sinir hücresi, insan beyninin çalışmasını sağlayan en temel taşlardan birisidir. İnsanın bütün davranışlarını ve çevresini anlamasını sağlarlar. Biyolojik sinir ağları, beş duyu organından gelen bilgiler ışığında geliştirdiği algılama ve anlama mekanizmalarını çalıştırarak olaylar arasındaki ilişkileri öğrenir. Biyolojik sinir ağının temeli olan sinir hücresi nöron olarak da adlandırılmaktadır.

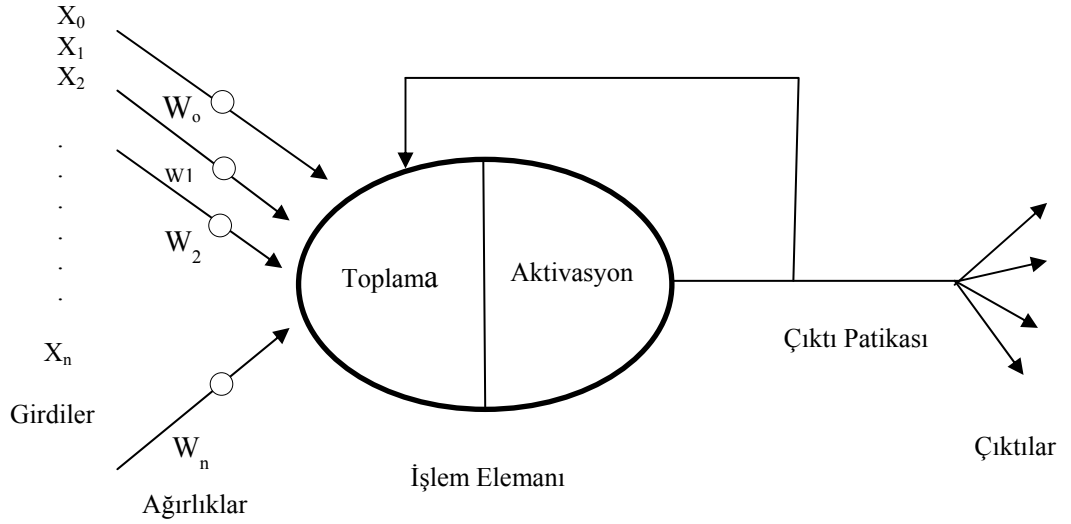
Şekil 4.1’de şematik diyagramı görülen biyolojik sinir hücreleri, sinapslar, soma, akson ve dendritlerden oluşmaktadır. Dendritler girdi kanalları olarak işlev görürler. Bu girdi kanalları diğer nöronların sinapsları aracılığı ile girdilerini alırlar. Belirli bir sürede bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik değerine ulaştığında hücre bir tepki üretmektedir. Daha sonra çekirdek, gelen bu sinyalleri zaman içinde işler. Çekirdek, bu işlenmiş değeri bir çıktıya dönüştürdükten sonra bu çıktıyı akson ve sinapslar aracılığıyla diğer nöronlara göndermektedir. Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin (merkez sinir ağı) bulunduğu üç katmanlı bir sistem olarak açıklanmaktadır. Alıcı sinirler, organizma içerisinden ya da dış ortamlardan aldıkları uyarıları, elektriksel sinyallere dönüştürerek beyne iletmektedirler. Tepki sinirleri ise, beynin ürettiği elektriksel sinyalleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürürler [26].



Şekil 4.1. Basit bir biyolojik sinir hücresi [4].

4.1.5. Yapay Sinir Hücresi

Biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri olduğu gibi, yapay sinir ağlarının da yapay sinir hücreleri vardır. Yapay sinir hücreleri mühendislik biliminde işlem elemanları olarak da adlandırılmaktadır. Şekil 4.2’de bir yapay sinir hücresinin genel yapısı görülmektedir.



Şekil 4.2. Yapay sinir hücresinin genel yapısı

Bir yapay sinir hücresi, girdiler, ağırlıklar, toplam fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı olmak üzere beş ana kısımdan oluşur [4].

1. **Girdiler:** Bir yapay sinir hücresine dışarıdan gelen bilgilerdir. Bunlar ağı öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir.
2. **Ağırlıklar:** Ağırlıklar bir yapay hücreye gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir.
3. **Toplama Fonksiyonu:** Bu fonksiyon, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Bunun için değişik fonksiyonlar kullanılır. En yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada her gelen girdi değeri kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Böylece ağa gelen net girdi bulunmuş olur. Aşağıdaki şekilde formalize edilir.

$$net = \sum_{i=0}^n G_i A_i \quad (4.1)$$

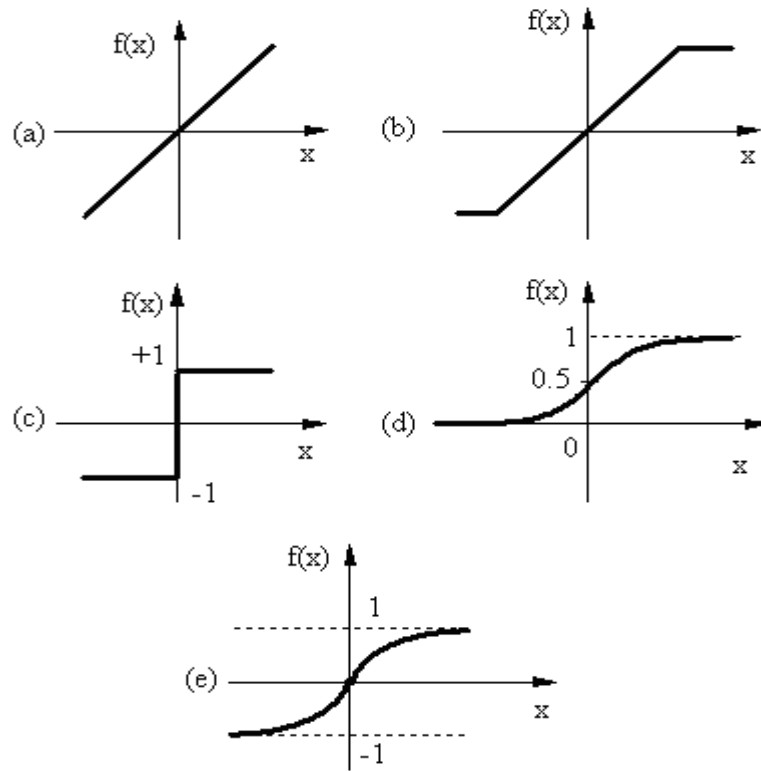
Bu formülde G girdileri, A ağırlıkları, n ise bir hücreye gelen toplam girdi sayısını göstermektedir.

4. **Aktivasyon Fonksiyonu:** Bu fonksiyon, hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu olarak da, çıktıyı hesaplamak içinde değişik formüller kullanılır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan çok katmanlı algılayıcı modelinde genel olarak aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmakta ve aşağıdaki şekilde formalize edilmektedir:

$$f(net) = \frac{1}{1+e^{-net}} \quad (4.2)$$

Burada *net*, işlem elemanına gelen toplam fonksiyonu kullanarak belirlenen net girdi değerini göstermektedir.

Günümüzde en çok kullanılan sigmoid aktivasyon fonksiyonu haricinde, eşik, adım ve hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonları da kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Aktivasyon fonksiyonları, a: lineer fonksiyon, b: rampa fonksiyonu, c: basamak fonksiyonu, d: sigmoid fonksiyonu, e: tanjant hiperbolik [4].

5. Hücrenin Çıktısı: Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeridir. Üretilen çıktı dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir. Hücre kendi çıktısını kendine girdi olarak da gönderebilir.

4.1.6. Yapay Sinir Ağlarının Genel Yapısı

Çalışmanın başında da belirtildiği gibi yapay sinir ağları insan beyninden esinlenilmiş yapılardır. Bu nedenle YSA'ların yapısını anlamak için, insan beyninin yapısını ve çalışma şeklini anlamak gerekmektedir. İnsan beyni sinir sisteminin merkezini oluşturan temel elemandır. Beyin, sürekli olarak iletilen bilgiyi alır, işler ve uygun kararları vererek gerekli yerlere iletir. Karmaşık olan bu beyin yapısının basit bir gösterimi Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, dışarıdan veya başka bir organdan gelen sinyaller alıcılar yoluyla sinir ağına iletilir. Sinyaller burada işlemden geçirilerek çıktı sinyaller oluşturulur. Oluşturulan çıktı sinyaller ise ileticiler yoluyla dış ortama veya diğer organlara iletilirler. Sinir ağı olarak gösterilen ortadaki bölüm, yani beyin, sinir sisteminin merkezi konumundadır. Beynin temel yapı taşları ise sinir hücreleri, diğer bir ifadeyle nöronlardır [28].

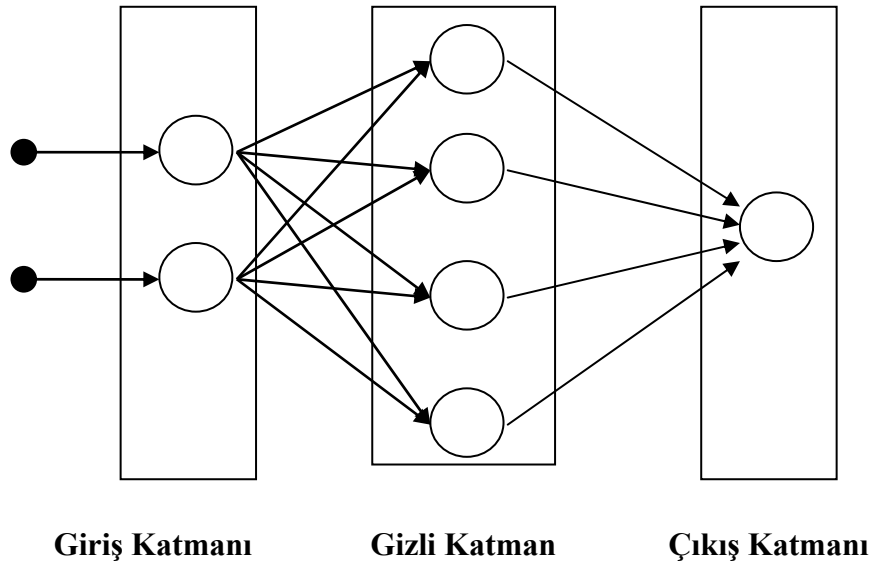


Şekil 4.4. Sinir sisteminin blok diyagramı

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağlarını oluştururlar. Genel olarak hücreler 3 katman halinde ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelip ağı oluştururlar. Bu katmanlar:

- **Girdi Katmanı:** Bu katmandaki işlem elemanları dış dünyadan bilgileri alarak ara katmanlara transfer etmekle sorumludurlar.
- **Gizli Katman:** Girdi katmanından gelen bilgiler işlenerek çıktı katmanına gönderilirler. Bu bilgilerin işlenmesi gizli katmanlarda gerçekleşir.
- **Çıktı Katmanı:** Bu katmandaki işlem elemanları ara katmandan gelen bilgileri işleyerek, ağı girdi katmanından sunulan girdi seti için üretmesi gereken çıktıyı üretir.

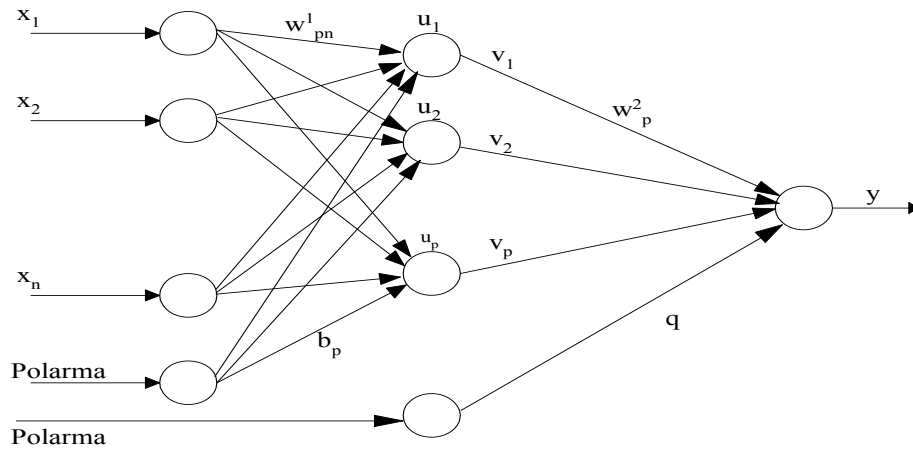
Şekil 4.5’de ileri beslemeli ağ yapısı görülmektedir. Bu şekilde tek yönlü ağların olduğu, bir katmandaki bilgilerin sadece bir sonraki katmana geçtiği ve yine bir katmandaki işlem elemanlarının bir sonraki katmana tamamen bağlandığı bir ağ yapısı gösterilmiştir. Çok bilinen geriye yayılım ağı (ileri beslemeli, katmanlı ağ) modeli bu tür yapıya örnek olarak verilebilir.



Şekil 4.5. Yapay sinir ağlarının genel yapısı [4].

Geri beslemeli YSA’da en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücrelere giriş olarak verilmektedir. Genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılmaktadır. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olur. Bu yapısı ile geri beslemeli YSA, doğrusal olmayan dinamik bir davranış göstermektedir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılaş şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli YSA yapıları elde edilebilir. Yayılma ve uyum gösterme olmak üzere iki aşamada işlemleri gerçekleştiren Standart Geri Yayılım Algoritması, katmanlar arasında tam bir bağlantının bulunduğu çok katmanlı, ileri beslemeli ve öğreticili olarak eğitilen bir YSA modelidir. Standart geri yayılım algoritması, hataları geriye doğru çıkıştan girişe azaltmaya çalışmasından dolayı bu ismi almıştır. Geri yayılmalı öğrenme kuralı ağ çıkışındaki mevcut hata düzeyine göre her bir katmandaki ağırlıkları yeniden hesaplamak için kullanılmaktadır.

YSA'nın en tanınmış olan ileri beslemeli ağ, çok katmanlı bir ağdır. Bu ağ, giriş ile çıkış katmanları arasında birden fazla katmanın kullanıldığı YSA sistemidir. Gizli katman olarak isimlendirilen bu ara katmanlarda, aracısız girişi alamayan ve aracısız çıkış veremeyen işlem elemanları bulunmaktadır. Katmanlardaki hücreler arasında ve bir katmandaki önceki katmana geriye doğru bir bağlantı yoktur. Şekil 4.6'da ileri beslemeli çok katmanlı YSA'nın genel yapısı görülmektedir.



Şekil 4.6. İleri beslemeli ağ yapısı

Eğitici öğrenme kullanılarak eğitilen ileri beslemeli ağda, girişe bir giriş vektörü uygulanmakta ve çıkıştan bir çıkış vektörü elde edilmektedir. Amaç her giriş vektörü için, ağın üreteceği cevabın istenilen çıkış vektörünün aynısı veya yeterince yakın değerlerde olmasını sağlayacak şekilde, ağırlık vektörleri oluşturmaktır. Yakın zamana kadar ileri beslemeli ağlar, eğitim algoritmalarının biyolojik sistemlere uygun olmamasına rağmen, son zamanlarda geliştirilen öğrenme algoritmalarıyla yaygın bir şekilde kullanımı sağlanmıştır.

Yapay sinir ağlarında da, girdiler ve çıktılar arasında pek çok hücre ve çok sayıda bağ vardır. Sinir hücreleri arasındaki bu bulgular ilişkiye göre bir aktarım değeri almaktadır ve bu değere ağırlık denmektedir. Ağırlıklar girilen tüm yeni veriler için yenilenebilmektedir. Mevcut bir veri tabanı öğretimi yapıldıktan sonra, ileride elde edilecek verilerle sistem kolayca güncellenebilmektedir. Basit bir yapay sinir hücresi; girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere beş ana kısımdan oluşmaktadır. Girdiler, diğer hücrelerden ya da dış ortamlardan hücreye giren bilgilerdir. Ağırlıklar, girdi

seti veya kendinden önceki tabakadaki başka bir işlem elemanının bu işlem elemanı üzerindeki etkisini ifade eden değerlerdir. Toplam fonksiyonu girdiler ve ağırlıkların tamamının bu işlem elemanına etkisini hesaplayan bir fonksiyondur. Bu fonksiyon bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar [28].

İleri beslemeli ağırlık çıkışı elde etmek için, ileri yönde (girişten çıkışa) hesaplamalar yapılır. j düğümün net girişi, u_j girişlerin bir lineer fonksiyonudur ve w_{ji} ağırlıklarıyla birlikte,

$$u_j = \sum_i x_i w_{ji} + b_j \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilir. Net girişin lineer olmayan fonksiyonu olan v_j ,

$$v_j = \frac{1 - e^{-u_j}}{1 + e^{-u_j}} \quad (4.4)$$

ile ifade edilir. Ara katman çıkışı v_j ile çıkış düğümü arasındaki ilişki doğrusaldır. Ağ çıkışı;

$$y = \sum_j v_j w_j^2 + q \quad (4.5)$$

şeklinde elde edilir. Giriş değerlerinin polarma ağırlığı ile birleştirilmesi, öğrenmeyi kolaylaştırmaktadır. Başlangıçta tüm ağırlıklara rastgele küçük değerler atanmaktadır. Bu ağırlık simetrisini bozmakta ve ağırlıkların büyük değerlerle dolmuş hale gelmesini engellemektedir. Giriş tabakasına $x_1, x_2 \dots x_n$ giriş vektörü uygulanmakta (4.3) – (4.5) eşitlikleri ile ağ çıkışları $y_1, y_2 \dots y_m$ hesaplanmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanıldığı kabul edilmiştir.

Katmanların boyutu hakkında genelleme yaparak bir değer vermek mümkün değildir. Giriş ve çıkış katmanlarının boyutu uygulamaya göre tespit edilmektedir. Ancak ara katmanın boyutu belirsiz olmakla birlikte genellikle giriş katmanından daha büyük olmalıdır. Eğer ara katmandaki hücre sayısı az seçilirse, giriş değerleri arasında gerekli özellikleri tanımlamayabilir. Gereğinden fazla olması halinde ise, genelleme ve soyutlama

hatasına düşülebilir. Ortaya çıkan bu sorunun en iyi çözümü ortalama bir değer alınmasıdır [4].

4.1.7. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları

Yapay sinir ağlarında sinir hücrelerinin bağlantılarının ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine ağırlık eğitimi denir. Başlangıçta bu ağırlık değerleri rastgele olarak atanmaktadır. Ağa gösterilen örnekler için doğru çıktıları üretecek ağırlık değerleri bulununcaya kadar bu ağırlık değerleri değiştirilir. Ağırlık doğru ağırlık değerlerine ulaşması örneklerin temsil ettiği olay hakkında genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Bu genelleştirme özelliğine kavuşması işlemine ağırlık öğrenmesi denir. Ağırlıkların değişmesi belirli kurallara göre yürütülmektedir. Bu kurallara öğrenme kuralları denir.

YSA’da öğrenme olayının iki aşaması vardır. Birinci aşamada ağa gösterilen örnek için ağırlık üreteceği çıktı belirlenir. Bu çıktı değerinin doğruluk derecesine göre ikinci aşamada, ağırlık bağlantılarının sahip olduğu ağırlıklar değiştirilir. Ağırlık çıktısının belirlenmesi ve ağırlıkların değiştirilmesi öğrenme kuralına bağlı olarak farklı şekillerde olmaktadır.

Ağırlık eğitimi tamamlandıktan sonra, öğrenip öğrenmediğini ölçmek için yapılan denemelere ise ağırlık test edilmesi denmektedir. Test etmek için ağırlık öğrenme sırasında görmediği örnekler kullanılır. Test etme sırasında ağırlık ağırlık değerleri değiştirilmez ve test örnekleri ağa gösterilir. Ağırlık eğitim sırasında belirlenen bağlantı ağırlıklarını kullanarak görmediği bu örnekler için çıktılar üretir. Elde edilen çıktıların doğruluk değerleri ağırlık öğrenmesi hakkında bilgiler verir. Sonuçlar ne kadar iyi olursa eğitimin performansı da o kadar iyi demektir. Eğitimde kullanılan örnek setine eğitim seti, test için kullanılan sete ise test seti denir. YSA’ların bu şekilde bilinen örneklerden belirli bilgileri çıkartarak bilinmeyen örnekler hakkında genelleme yapabilme yeteneğine adaptif öğrenme denir [26].

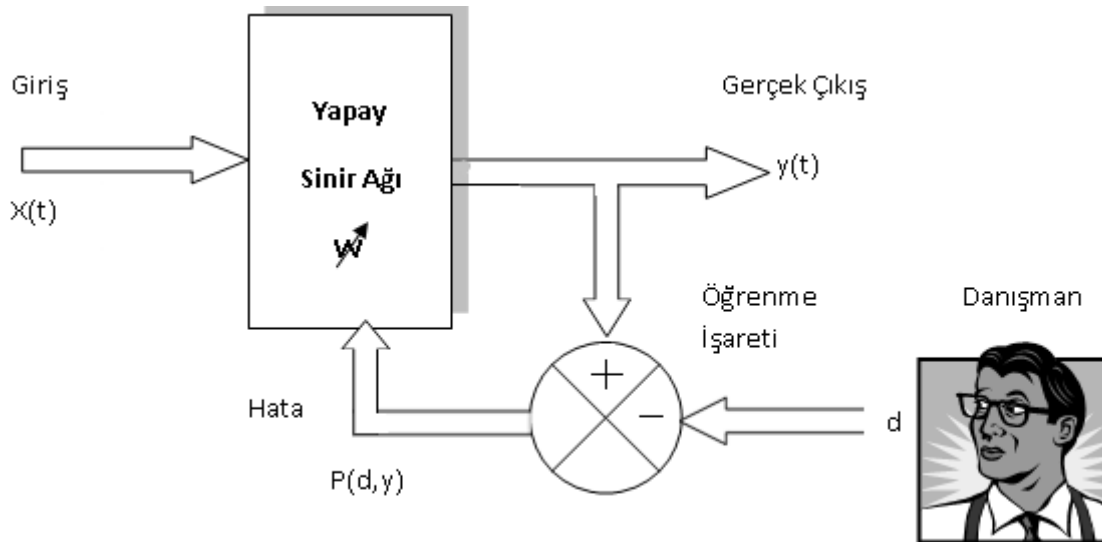
Literatürde kullanılan birçok öğrenme algoritması mevcuttur. Bu öğrenme algoritmalarının çoğunluğu matematik tabanlı olup, ağırlıkların güncellenmesi için kullanılmaktadırlar. Bu algoritmaların bir çoğu Hebb kuralından türetilmiştir.

Öğrenme işlemi çok parametrelidir, karmaşık ve matematiksel olarak ifade edilmesi zor bir işlemdir. Bugün kullanılan öğrenme kuralları bu işlemin basitleştirilmiş veya farklı formatlarla ifade edilmiş biçimleridir. Mevcut öğrenme algoritmaları Hebb, Delta, Kohonen ve Hopfield olmak üzere dört farklı öğrenme kuralından esinlenilerek geliştirilmiştir.

Gözlem, eğitim ve hareketin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği öğrenme olarak tanımlanmaktadır. Bir takım metot, kural, algoritma, yaklaşım veya gözlem bir ağın ağırlıklarının bir problem göre değiştirilmesi ile öğrenme sağlanmaktadır. Öğrenme yöntemine göre algoritmalar sınıflandırılmıştır. Bu öğrenme yaklaşımları genel olarak eğitici, eğitici ve takviyeli olmak üzere üç farklı gruba ayrılmaktadır [4].

1. Eğitici Öğrenme: Bu tip öğrenmede, öğrenme aşamasında YSA'ya ne öğrenmesi gerektiği örnek bir çıkışla bildirilmektedir. İstenilen veya arzu edilen çıkış ile gerçek çıkış (ağ çıkışı) arasındaki farka göre, nöronlar arası bağlantıların ağırlığı, en uygun çıkışı elde etmek için bir öğrenme algoritması ile düzenlenmektedir.

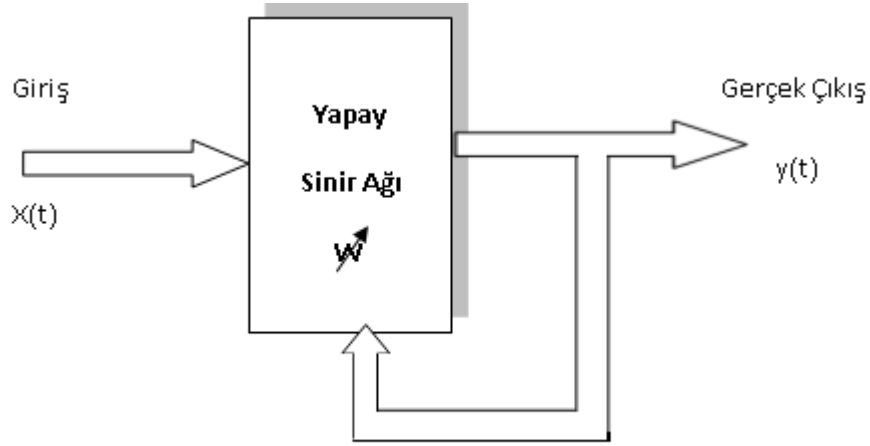
Eğitici öğrenme algoritmasının olayı öğrenebilmesine bir eğitici yardımcı olmaktadır. Sistemin görevi, girdileri eğitcinin belirlediği çıktıları haritalamaktır. Bu sayede olayın girdileri ile çıktıları arasında ilişkiler öğrenilmektedir. Eğitici öğrenme yapısı Şekil 4.7'de görülmektedir. Eğitici öğrenme algoritmalarına örnek olarak, Widrow-Hoff tarafından geliştirilen delta kuralı ve Ruhelmart ve McClelland tarafından geliştirilen genelleştirilmiş delta kuralı veya geri yayılım algoritması verilebilir.



Şekil 4.7. Eğitici öğrenme algoritması

2. Eğiticişiz Öğrenme: Bu tip öğrenmede, sistemin öğrenmesine yardımcı olan herhangi bir eğitici yoktur. Sisteme sadece girdi değerleri gösterilir. Örneklerdeki parametreler arasındaki ilişkileri sistemin kendi kendisine öğrenmesi beklenir. Bu, daha çok sınıflandırma problemleri için kullanılan bir öğrenme metodudur. Yalnız sistemin öğrenmesi bittikten sonra, çıktıların ne anlama geldiğini gösteren etiketlenmenin kullanıcı tarafından yapılması gerekmektedir.

Aynı özellikleri gösteren örneklerde aynı çıkışlar, farklı çıkışlarda ise yeni çıkışlar oluşturmaktadır. Şekil 4.8’de eğiticişiz öğrenme yapısı görülmektedir. Grossberg tarafından geliştirilen ART (Adaptive Resonance Theory) veya Kohonen tarafından geliştirilen SOM (Self Organizing Map) öğrenme kuralı eğiticişiz öğrenmeye örnek olarak verilebilir.

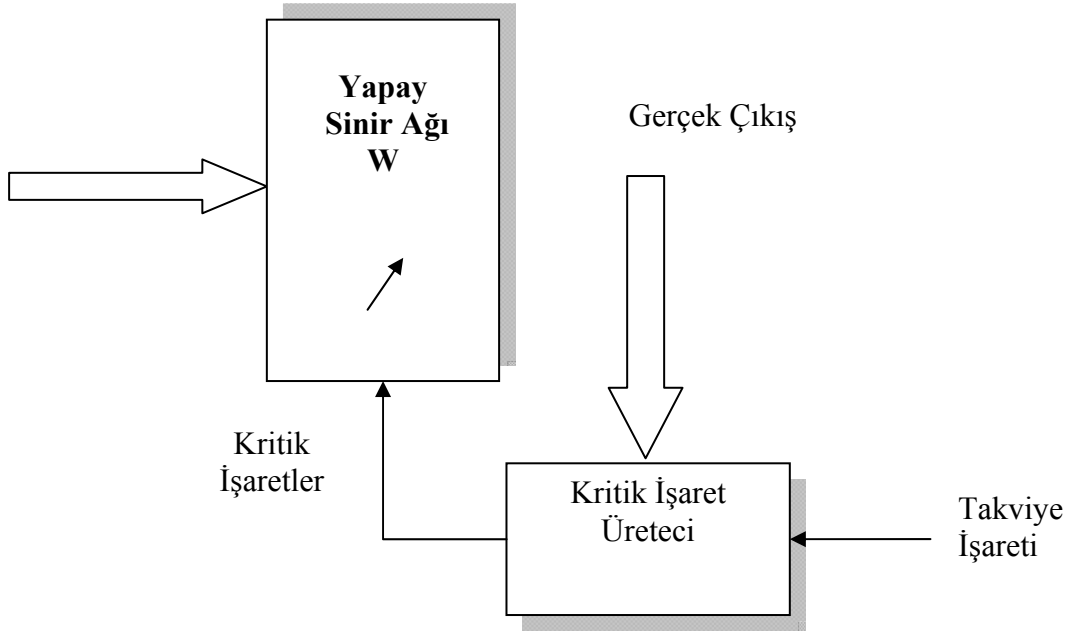


Şekil 4.8. Eğiticişiz öğrenme yapısı

3. Takviyeli Öğrenme: Bu öğrenme kuralı eğiticişiz öğrenme algoritmasının özel bir formu olup, Şekil 4.9’da takviyeli öğrenmenin yapısı görülmektedir. Bu algorithmada, giriş değerlerine karşın istenilen çıkış değerlerinin bilinmesine gerek yoktur. Yapay sinir ağına bir hedef verilmemekte fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık uygunluğunu değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır.

Eğiticişiz öğrenmeden farkı ise, eğiticinin ağı üretmesi gereken sonuç yerine, onun ürettiği sonucun sadece doğru veya yanlış olduğunu söylemesidir. Bu ise ağa bir takviye sinyalinin gönderilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem, beklenen çıktının oluşturulmadığı durumlarda oldukça faydalıdır. Optimizasyon problemlerini çözmek için

Hinton ve Sejnowski'nin geliştirdiği Boltzmann kuralı ve genetik algoritma takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilir [4].



Şekil 4.9. Takviyeli öğrenme yapısı

4.2. Uyarlamalı Bulanık Sinirsel Ağlar (UBSA)

Bulanık mantık (BM), sinir ağları, genetik algoritma ve uzman sistemler gibi bütün yapay zeka tekniklerinin her birinin kendine özgü yetenekleri bulunmaktadır. Örneğin YSA ile öğrenme, örnekler tanımlamada iyi iken kararların nasıl alındığını konusunda iyi sonuç vermemektedir. Ancak buna karşın BM yaklaşımı karar almada çok iyi sonuçlar vermektedir. Sinirsel bulanık mantık yaklaşımı, YSA'nın öğrenme yeteneği, en uygunu bulma ve bağlantılı yapılar özelliği, bulanık mantığın ise insan gibi karar verme ve en uzman bilgisi sağlama kolaylığı gibi üstünlüklerinin birleştirilmesi fikrine dayanmaktadır. Bu yolla, bulanık denetim sistemlerine, sinir ağlarının öğrenme ve hesaplama gücü verilebilirken, sinir ağlarını da bulanık denetimin insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama yeteneği kazandırılmaktadır. Modern sinirsel bulanık sistemler genellikle ileri beslemeli çok katmanlıdırlar. Son yıllarda birçok araştırmacı tarafından yoğun olarak UBSA, Falcon, FuNe, RuleNet, Garic, Nefcclass, Nefcon, Nefprox diye adlandırılan sinirsel bulanık sistemler kullanılmaktadır.

Bulanık çıkarım sistemleri ve çok katmanlı algılayıcılar, uyarlamalı ağların çok genel hesaplama çalışmalarının özel örnekleridir. Her iki örnek de uyarlamalı ağın geriye yayılma öğrenme yeteneğini almışlardır. UBSA, uyarlamalı ağların işlevsel olarak bulanık çıkarım sistemine eşdeğer olan bir sınıftır.

Açık olarak uyarlamalı ağlara dayanan bulanık çıkarım sistemi veya uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi anlamına gelen UBSA (ANFIS) ismi, Adaptive Network-based Fuzzy Inference System veya Adaptive Neuro Fuzzy Inference System olan özgün adının baş harflerinden oluşmaktadır.

UBSA karma sinir ağları olarak da anılmakta olup, denetleyicilerin bazı önemli özellikleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

1. Öğrenme yeteneği,
2. Paralel işlem,
3. Yapılandırılmış bilgi temsili,
4. Diğer denetim tasarım yöntemleriyle daha iyi bütünleşme.

UBSA'nın yapısındaki bulanık çıkarım sisteminin mimarisinin kolaylıkla anlatılabilmesi için x ve y olmak üzere iki girişli ve f gibi bir çıkışı olduğu kabul edilirse, birinci derece Sugeno bulanık modeli için iki bulanık “EĞER-O HALDE” kuralı Eşitlik 4.6'daki gibi olur.

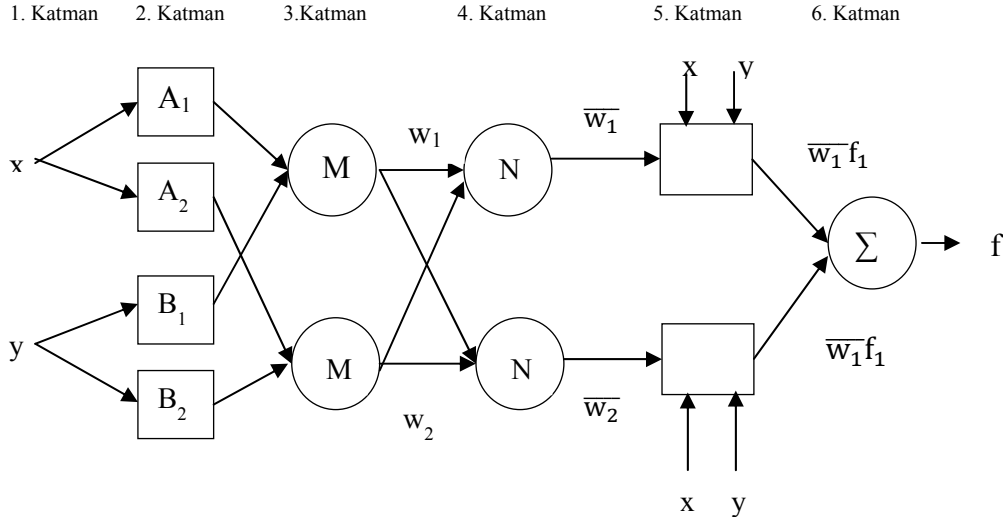
Kural 1 : EĞER $x = A_1$ ve $y = B_1$ O HALDE $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

Kural 2 : EĞER $x = A_2$ ve $y = B_2$ O HALDE $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$ (4.6)

Eşitlikte $i = 1, 2$ için, x ve y giriş değişkenlerini, f_i çıkış değişkenini, A_i ve B_i bulanık kümeleri, $p_i, q_i, r_i \in R$ olmak üzere sonuç değişkenlerini gösterirler.

4.2.1. UBSA Mimarisi

İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım yöntemine eşdeğer olan UBSA mimarisi Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım yöntemine eşdeğer UBSA mimarisi

UBSA mimarisi içindeki her katmana ait düğüm işlevleri aşağıda verilmiştir.

- 1. Katman:** Bu kademedeki her düğüm, giriş sinyallerin diğer katmanlara aktarıldığı giriş düğümleridir. Bu düğümde herhangi bir toplam ya da etkinlik işlevi kullanılmamaktadır.
- 2. Katman:** Bu katmandaki her düğüm için A_i ve B_i 'ler bulanık kümeyi ifade ederler. Bu katmanlardaki düğümlerin çıkışı, giriş örneklerine ve kullanılan üyelik işlevine bağlı olan üyelik dereceleridir. Bu düğümlerden elde edilen üyelik dereceleri veya düğüm çıkışları Eşitlik 4.7 'deki gibidir.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1, 2 \quad (4.7)$$

$$O_i^1 = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 3, 4$$

Eşitlik 4.7 'de görüldüğü gibi iki farklı düğüm çıkışı yazılmıştır. Bunun nedeni ağırlık x ve y gibi iki farklı girişe sahip olmasıdır. Bu katmanda her iki giriş için toplam 4 düğüm

vardır. Her bir düğümde üyelik fonksiyonu olarak en çoğu 1 ve en azı 0 olan çan eğrisi üyelik fonksiyonları kullanılır ve sonuç işlevi Eşitlik 4.8 'de verilmiştir.

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right\}^{b_i}} \quad (4.8)$$

Burada c_i ve a_i çan eğrisi şekilli üyelik fonksiyonun sırasıyla orta noktasını ve standart sapmasını gösterir. Bu değişkenler ağ eğitilirken ayarlanır.

- 3. Katman:** Bu katmandaki her düğüm, M ile etiketlenmiştir ve giren tüm işaretlerin çarpımını gösterir. Düğüm çıkışı Eşitlik 4.9 'daki gibi ifade edilebilir.

$$O_i^3 = w_i = \mu_{A_1}(x) \mu_{B_1}(y) \quad i = 1, 2 \quad (4.9)$$

Her düğümün çıkışı bir kuralın eşikleme seviyesini temsil etmektedir. Genelleştirilmiş bulanık VE 'yi (AND) yerine getiren t-norm operatörlerden herhangi biri, bu katmandaki düğümler için düğüm işlevi olarak kullanılabilir.

- 4. Katman:** Bu katmandaki her düğüm N ile etiketlenmiştir. Burada, bir kuralın normalleştirilmiş eşikleme seviyesi hesaplanmaktadır. Bu, Eşitlik 4.10 'da görüldüğü gibi, i . düğüm için, i . kuralın eşikleme seviyesinin, bütün kuralların eşikleme seviyelerinin toplamına eşittir.

$$O_i^4 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad i = 1, 2 \quad (4.10)$$

- 5. Katman:** Bu katmandaki her i düğümü, düğüm işlevi ile uyarlamalı bir düğümdür. Her i düğümü, sonuç ağırlıkları değerlerini hesaplar. Düğüm çıkış işlevi Eşitlik 4.11'deki gibi yazılabilir.

$$O_i^5 = \bar{w}_i f_i = w_i(p_i x + q_i y + r_i) \quad i = 1, 2 \quad (4.11)$$

Burada w_i , 4. katmanın çıkışıdır ve normalleştirilmiş eşikleme seviyesidir. Aynı zamanda (p_i, q_i, r_i) ayar edilebilmesi için gerekli olan, ayar değişken kümesidir. Bu katmandaki değişkenler sonuç değişkenlere karşılık gelir.

6. Katman: Bu katmanda sadece bir düğüm bulunmaktadır ve Σ ile etiketlenmiştir. Burada, 5. Katman çıkışından alınan sinyaller toplanır ve elde edilen sonuç sistemin gerçek çıkışı f değerini verir. Ağın gerçek çıkışı Eşitlik 4.12 'de verilmiştir.

$$O_i^6 = \sum_{i=1}^2 \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_{i=1}^2 w_i f_i}{w_1 + w_2} \quad (4.12)$$

Böylece Sugeno tip bulanık çıkarım modeline işlevsel olarak eşdeğer olan, örnek UBSA yapısı tanımlanmıştır. Ağın yapısı tamamen sabit değildir. Ağın oluşturulması ve düğüm işlevlerinin görevlerine göre ayrılması, her katmandaki her bir düğümün sağladıklarına ve modüler işlevselliğine göre keyfi olarak seçilebilmektedir.

Sugeno tip UBSA 'dan Tsukamoto UBSA 'ya kolaylıkla geçilebilir. Genellikle yaygın olarak da bu iki tip kullanılır. Mamdani tip bulanık çıkarıma karşılık gelen UBSA için, max. – min. kompozisyonu ve sonuç çıkış için ağırlık merkezi durulama yöntemi ile elde edilebilir. Fakat bu Sugeno veya Tsukamoto tip UBSA 'ya göre çok karmaşık ve zordur. Ayrıca öğrenme yeteneğine ve yaklaşım gücüne önemli bir katkı sağlamamaktadır.

Bütün sonuç değişkenler bir vektör olarak $(p_1, q_1, r_1, p_2, q_2, r_2)^T$ şeklinde düzenlenir ve Eşitlik 4.13 'deki gibi gösterilebilir.

$$f = (\bar{w}_1 x)P_1 + (\bar{w}_1 y)q_1 + (\bar{w}_1)r_1 + (\bar{w}_2 x)P_2 + (\bar{w}_2 y)q_2 + (\bar{w}_2)r_2 \quad (4.13)$$

Sonuç ve üyelik fonksiyonlarına ait değişkenlerin ayarlanmasında geri yayımlı öğrenme algoritması kullanılabilmektedir [4].

5. YAPAY SİNİR AĞI İLE MODELLEME

Küresel ısınma, kuraklık, buharlaşma, yağış miktarı, sıcaklık, akarsuların akış miktarı, nem, radyasyon, rüzgar hızı ve toprağın nem durumu hidroelektrik üretimini etkileyen iklimsel değişkenlerdir. Hidroelektrik üretimi; sıcaklık, buharlaşma, yağış miktarı, nem ve diğer iklimsel parametrelere bağlı olan su miktarına (debi) bağlıdır. Yağış miktarındaki değişim, hidroelektrik santralindeki üretilen enerji miktarını büyük ölçüde etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında meteorolojik ve santral verilerine bağlı olarak, Keban ve Karakaya Hidroelektrik Santralinin verim ve üretim değerlerinin tahmini amacıyla bir yapay sinir ağı oluşturmak için MATLAB 7.10.0 (R2010a) programı kullanılmıştır. Bu YSA modelinde; santral göl havzasının bulunduğu bölgenin meteorolojik verilerden, ortalama nem (%), yağış miktarı (mm), açık yüzey buharlaşma miktarı, ortalama basınç (hPa), ortalama bulutluluk ve ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) değerleri ile, santral verilerinden ise gelen suyun debisi (m^3/s), buharlaşan su (m^3), suyun enerjiye oranı (m^3/kWh) ve ortalama net düşü (m) verileri giriş verileri olarak alınmıştır. Giriş verileri son beş yıla ait (2008-2012) aylık ortalamalar alınarak, bir yapay sinir ağının eğitilmesinde kullanılmıştır.

Veriler arasından; meteorolojik ve santral verileri giriş, hidroelektrik santralin üretim ve verim değerleri de çıkış bilgisi olacak şekilde akıllı sistemlerin çalışması düzenlenmiştir. Çalışmada incelediğimiz Keban ve Karakaya HES havzasındaki illerin günlük meteorolojik verileri 5 yıl için DMİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir [31]. Dolayısıyla bir giriş parametresi; her bir il için yaklaşık 1800 gerçek veri olup, Keban HES havzası için 7200 veri, Karakaya HES havzası için ise 5400 veri incelenmiştir. Ancak modelde, her bir yılın günlük ortalaması ve bu ortalamaların sonucunda elde edilen verilerin aylık ortalamaları dikkate alınmıştır. Modelde her bir giriş parametresi için kullanılan veri sayısı 72'dir.

İlk 4 yıllık veriler yapay sinir ağının eğitimi ve son yıl verileri ise testi için kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan YSA modeli, farklı tabaka ve nöron sayıları için denenmiştir. Yapay sinir ağını eğitmek için geriye yayılma algoritması trainLm ve eşik aktivasyon (sigmoid) fonksiyonu seçilmiştir.

Keban HES göl havzasının bulunduğu Elazığ, Bingöl, Muş ve Tunceli illerinin ve Karakaya HES göl havzasının bulunduğu Diyarbakır, Elazığ ve Adıyaman illerinin

meteoroloji istasyonlarından, 2008 ve 2012 yılları arası 5 yıla ait; ortalama nem, yağış miktarı, açık yüzey buharlaşma miktarı, ortalama basınç, ortalama bulutluluk ve ortalama sıcaklık değerleri gibi meteorolojik veriler ile birlikte Keban ve Karakaya HES'e ait; gelen suyun debisi, buharlaşan su, suyun enerjiye oranı ve ortalama net düşü gibi santral verileri de EÜAŞ Keban HES ve Karakaya HES Müdürlüğü'nden temin edilmiştir [29,30].

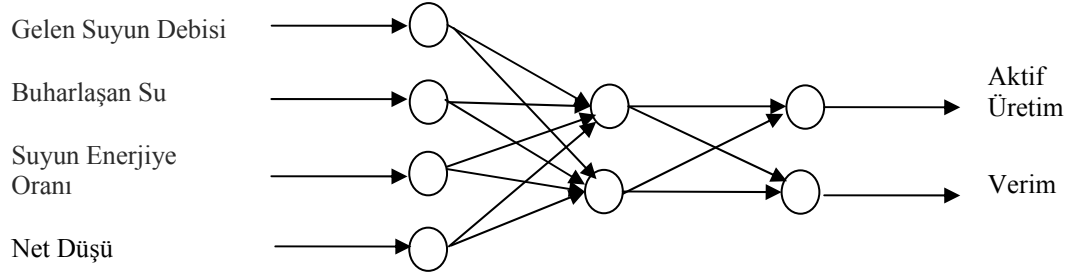
Temin edilen bu 5 yıllık meteorolojik ve santral günlük verilerinin aylık ortalamaları Excel programında hesaplanarak, her bir parametre için 72 değer elde edilerek, bu veriler yapay sinir ağlarını eğitmede kullanılmıştır. Sonuçta Keban ve Karakaya HES'in aktif üretim ve verim tahmininden oluşan 2 çıkışlı bir modelleme oluşturulmuştur.

YSA Modellemesi için kullanılan Keban HES gerçek verilerinin aylık ortalamaları EK 1'de, Keban HES meteorolojik verilerinin aylık ortalamaları ise EK 2'de, Karakaya HES gerçek verilerinin aylık ortalamaları EK 3'de, Karakaya HES meteorolojik verilerinin aylık ortalamaları ise EK 4'de verilmiştir.

YSA modeli olarak Geri Yayılımlı (GY) çok katmanlı yapay sinir ağları kullanılmıştır. YSA modelinin performansı orta katmandaki nöron sayısı, giriş sayısı, öğrenme katsayısı gibi parametreler değiştirilerek, deneme yanılma yolu ile en iyi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan YSA modeli ile Keban ve Karakaya HES'in bir sonraki yıla ait aktif üretim ve santral genel verimleri düşük bir hata oranıyla tahmin edilmiştir. YSA modellemesinde Levenberg-Marquardt (LM), öğrenme algoritması kullanılmıştır.

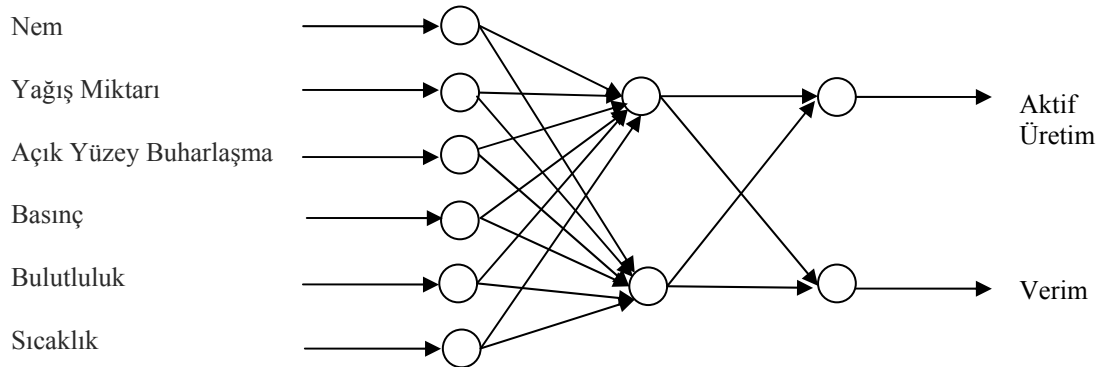
YSA model çalışması 3 aşamalı olarak planlanmıştır. Bunlar;

- 1. Birinci Model:** Bu modellemede; santral parametrelerine bağlı olarak, Keban ve Karakaya HES'in verim ve üretim tahmini yapılmıştır. Santral parametreleri olan; gelen suyu debisi, buharlaşan su miktarı, suyun enerjiye oranı ve net düşüsü modelin giriş verileri olarak alınmış ve yapay sinir ağında eğitilerek, çıkışta verim ve üretim tahmini yapılmıştır. Şekil 5.1'de tek gizli tabaka (2 nöronlu) ve 4 giriş nöronuna sahip ileri beslemeli YSA birinci modelin şematik yapısı görülmektedir.



Şekil 5.1. Çalışmada kullanılan birinci YSA modeli

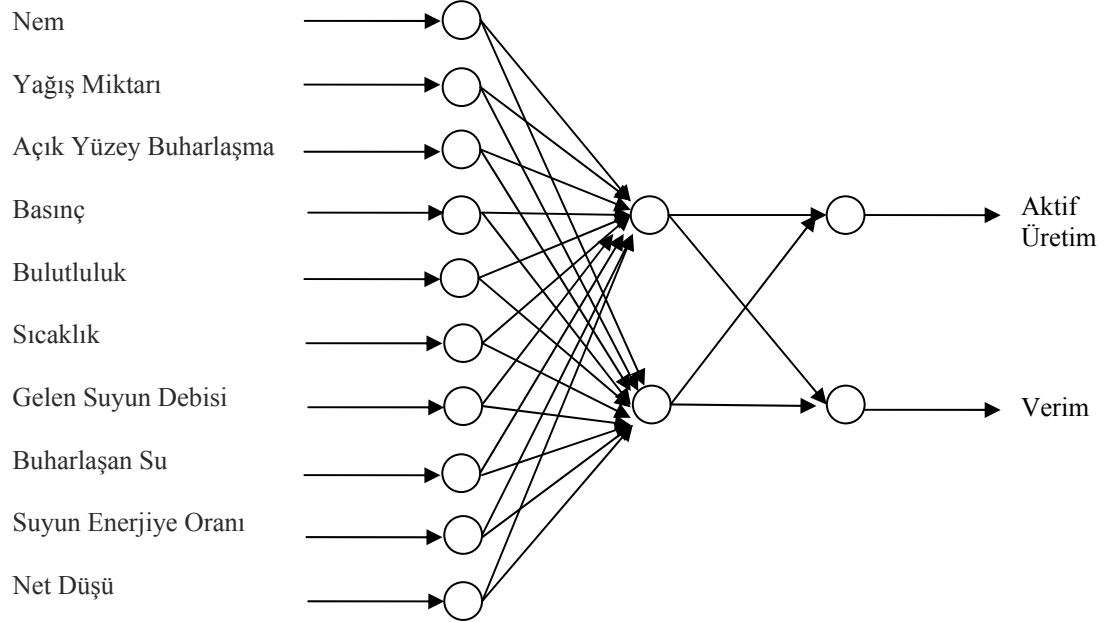
- 2. İkinci Model:** Bu modellemede de; meteorolojik parametrelerine bağlı olarak, Keban ve Karakaya HES'in verim ve üretim tahmini yapılmıştır. Meteorolojik parametreleri olan; nem, yağış miktarı, açık yüzey buharlaşma miktarı, basınç, bulutluluk ve sıcaklık modelin giriş verileri olarak alınmış ve yapay sinir ağında eğitilerek, çıkışta verim ve üretim tahmini yapılmıştır. Şekil 5.2'de tek gizli tabaka (2 nöronlu) ve 6 giriş nöronuna sahip ileri beslemeli YSA ikinci modelin şematik yapısı görülmektedir.



Şekil 5.2. Çalışmada kullanılan ikinci YSA modeli

- 3. Üçüncü Model:** Bu modellemede ise; hem santral hem de meteorolojik parametrelerine bağlı olarak, Keban ve Karakaya HES'in verim ve üretim tahmini yapılmıştır. Santral parametrelerinden gelen suyu debisi, buharlaştıran su miktarı, suyun enerjiye oranı ve net düşü ile meteorolojik parametrelerinden nem, yağış miktarı, açık yüzey buharlaşma miktarı, basınç, bulutluluk ve sıcaklık modelin giriş verileri olarak alınmış ve yapay sinir ağında eğitilerek, çıkışta verim ve üretim

tahmini yapılmıştır. Şekil 5.3’de tek gizli tabaka (2 nöronlu) ve 10 giriş nöronuna sahip ileri beslemeli YSA üçüncü modelin şematik yapısı görülmektedir.



Şekil 5.3. Çalışmada kullanılan üçüncü YSA modeli

5.1. YSA Model Performans Kriterleri

Bu çalışmada oluşturulan YSA modellerinin performansları üç farklı istatistiksel ölçüt kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu ölçütler, uygunluk katsayısı (R^2), varyasyon katsayısı (COV), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) gibi istatistiksel gibi parametrelerdir.

R^2 , ölçüm değerleri ile model tahminleri arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılır. R^2 değeri sıfır ile bir arasında değişmekte ve bu değer birine yaklaşması ölçüm değerleri ile model tahminleri arasında bağımlılığın kuvvetli olduğu anlamına gelmektedir.

Ölçüm değerlerinin büyüklüğünden ileri gelen farklılığı ortadan kaldırmak, hem de farklı ölçü birimi ile ifade edilmiş ölçüm değerlerini karşılaştırılabilir duruma getirmek için yeni bir değişim ölçüsü kullanılması gerekmektedir. COV, değişim katsayısı olup standart sapmanın ortalamaya oranının yüzle çarpılması ile bulunmaktadır. COV, sıfır ile yüz arasında değerler almaktadır. Bu katsayı sıfıra yaklaştıkça değişkenlik azalmakta, yüze

yaklaştıkça ise değişkenlik artmaktadır. COV yüzde ile ifade edilmekte olup, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır [4].

$$COV = \frac{S}{\bar{X}} * 100 \quad (5.1)$$

Burada S, standart sapmayı, $\bar{X}$ ise ortalamayı göstermektedir.

RMSE, ölçüm değerleri ile model tahminleri arasındaki hata oranını belirlemek amacıyla kullanılmakta ve RMSE değerinin sıfıra yaklaşması modelin tahmin kabiliyetinin artması anlamına gelmektedir. RMSE aşağıdaki bağıntı (5.2) ile hesaplanmaktadır.

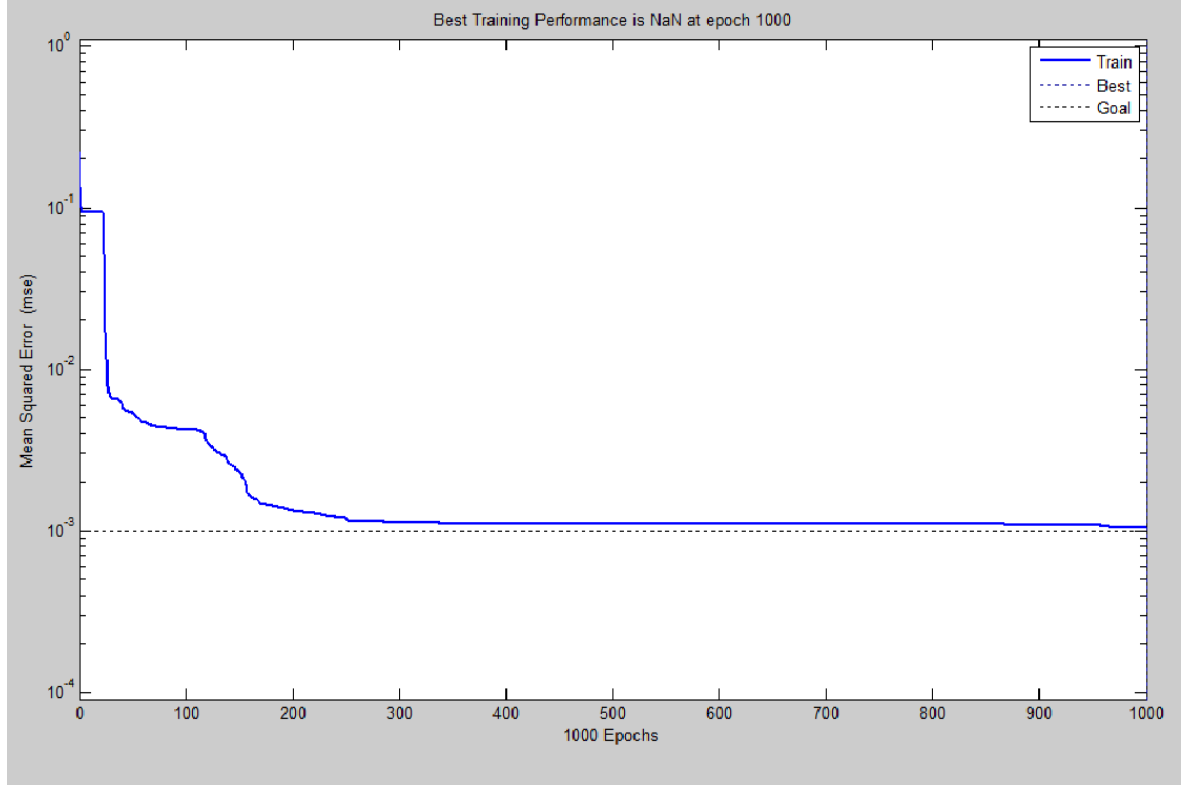
$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_{model,i} - y_{gözlem,i})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (5.2)$$

Burada $y_{model,i}$ model tahminlerini, $y_{gözlem,i}$ ölçüm değerlerini, n ise gözlem sayısını göstermektedir.

MAE ise, ölçüm değerleri ile model tahminleri arasındaki mutlak hatayı belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. MAE değeri sıfıra ne kadar yakın olursa modelinin tahmin yeteneği o kadar iyi demektir. MAE aşağıdaki bağıntı (5.3) ile hesaplanmaktadır [4].

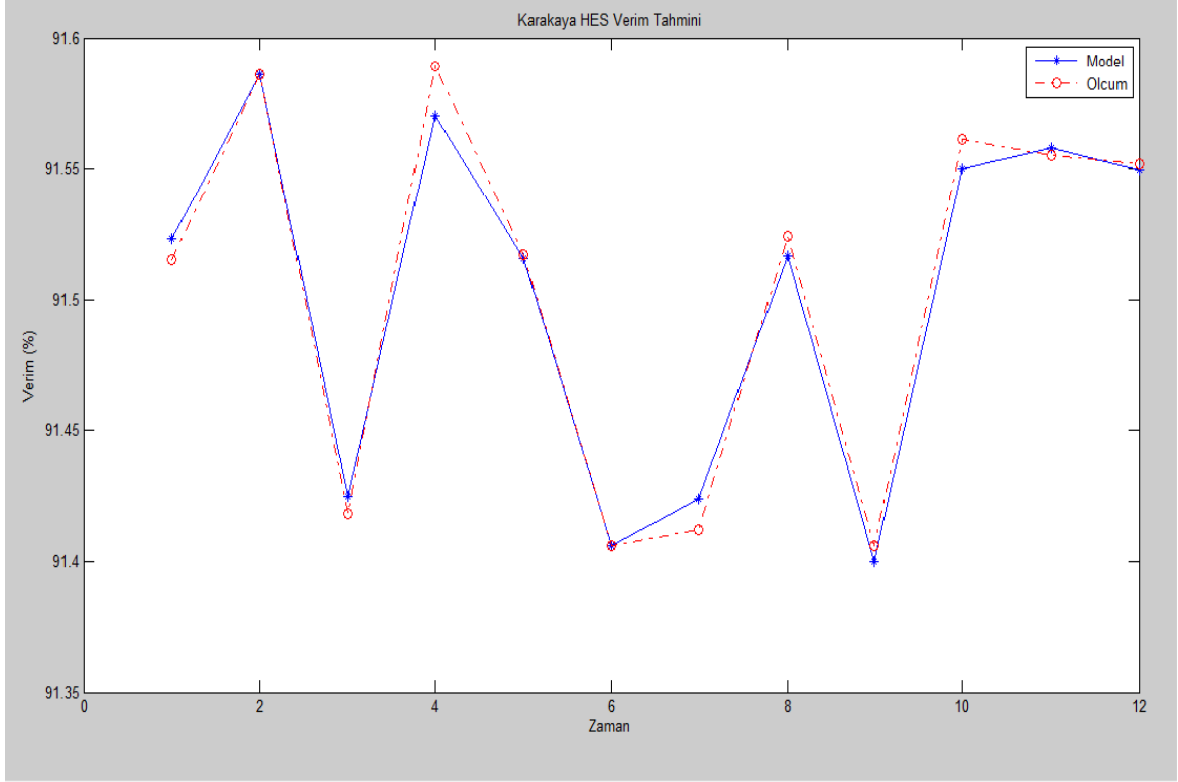
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_{gözlem,i} - y_{model,i}| \quad (5.3)$$

Bu çalışmada, çeşitli ara katman sayıları kullanılmıştır. Yapılan YSA modelleme çalışmalarında değişik algoritmalar denenmiş ve en uygun çözüm bulunmuştur. Şekil 5.4’de YSA algoritmasının eğitim verilerinin amaç değerine yakınsaması verilmiştir. Yaklaşık bin iterasyon sonucunda ortalama karesel hata (MSE) değerinde hedeflenen 1×10^{-3} değerine ulaşılmıştır.

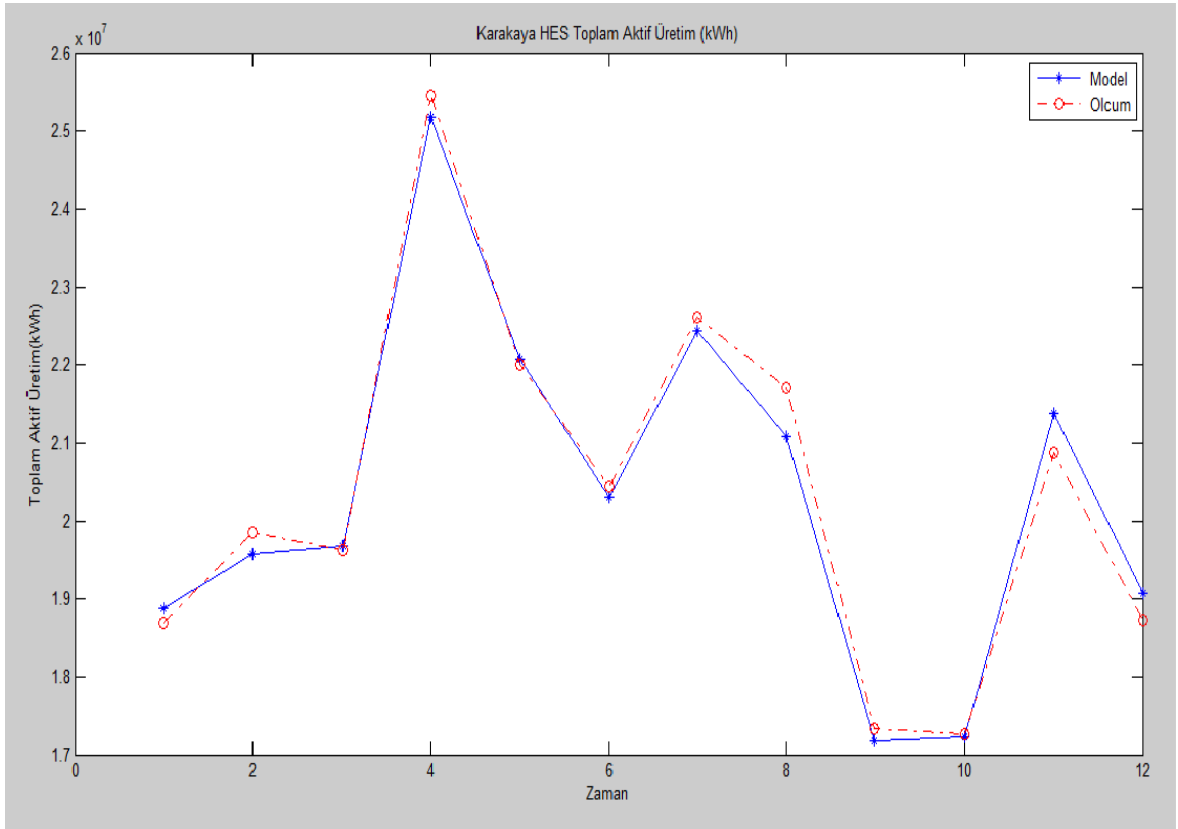


Şekil 5.4. LM algoritması için eğitim yaklaşımı ile ortalama kare hatasının değişimi

Yapılan çözüm sonucunda YSA modelinin ilk çıkış parametresi olan verim değerlerinin, ölçüm değerleri ile kıyaslanması Karakaya HES için Şekil 5.5’de verilmiştir. İlk çıkışın R^2 değeri 0.9983’dir. Aynı şekilde modelin çalışması sonucunda elde edilen ve diğer çıkış olan aktif üretimin ölçüm ve YSA model verileri ise Karakaya HES için Şekil 5.6’da verilmiş olup, R^2 değeri 0.9998’dir. RMSE, MAE ve COV gibi model performans değerleri de en küçük olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.5. LM algoritması ile Karakaya HES veriminin YSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması



Şekil 5.6. LM algoritması ile Karakaya HES üretiminin YSA ve ölçüm olarak karşılaştırılması

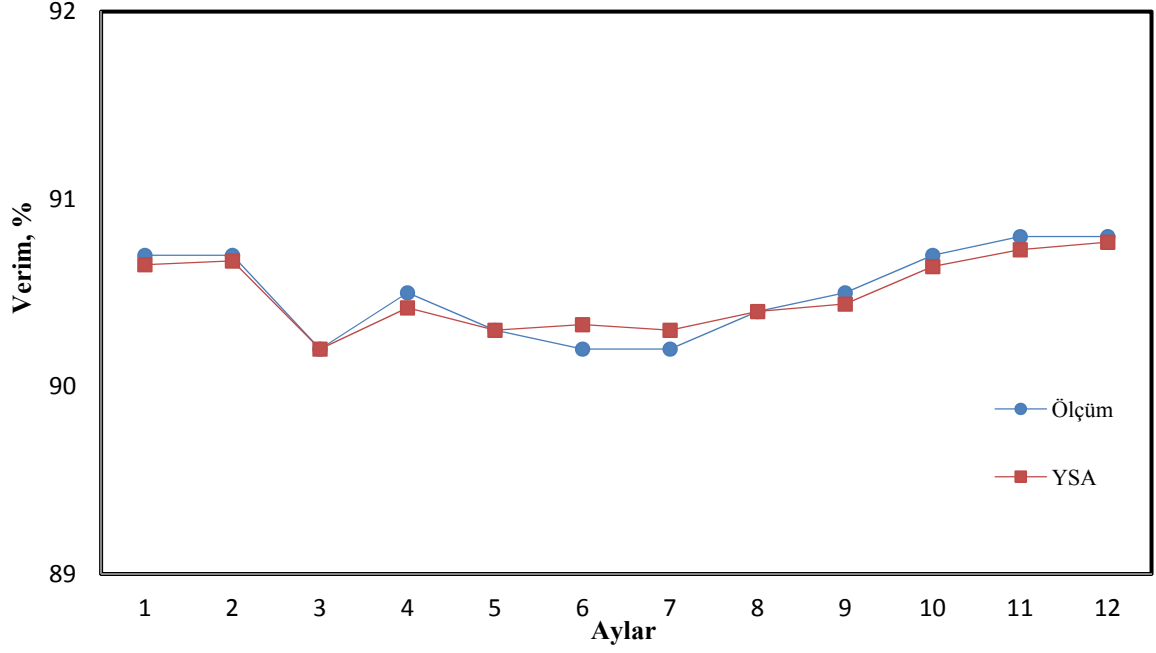
5.2. YSA İle Keban HES'in Enerji Verim ve Üretim Tahmini

YSA ile Keban HES'in enerji verim ve üretim tahmini üç aşamada incelenmiştir. İlk olarak santral parametrelerine (gelen suyun debisi, buharlaşan su, suyun enerjiye oranı ve net düşü) bağlı olarak verim ve üretim tahmini yapılmıştır. Ölçüm değerleri ile YSA ile belirlenen santral verim ve üretim değerleri arasındaki değişim grafikleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de verilmiştir. Şekil 5.7'de görüldüğü üzere santral parametrelere bağlı olarak geliştirilen modelin verim değerleri tahmininde, özellikle yaz aylarında küçük bir sapmanın olduğu sonucu çıkmaktadır. Üretimin aylara göre değişim grafiği olan Şekil 5.8'de ise, Türkiye'de elektrik tüketiminin değişkenlik göstermesinin bir sonucu olarak, üretimin YSA ile tahmininde yine bazı sapmaların olduğu görülmektedir.

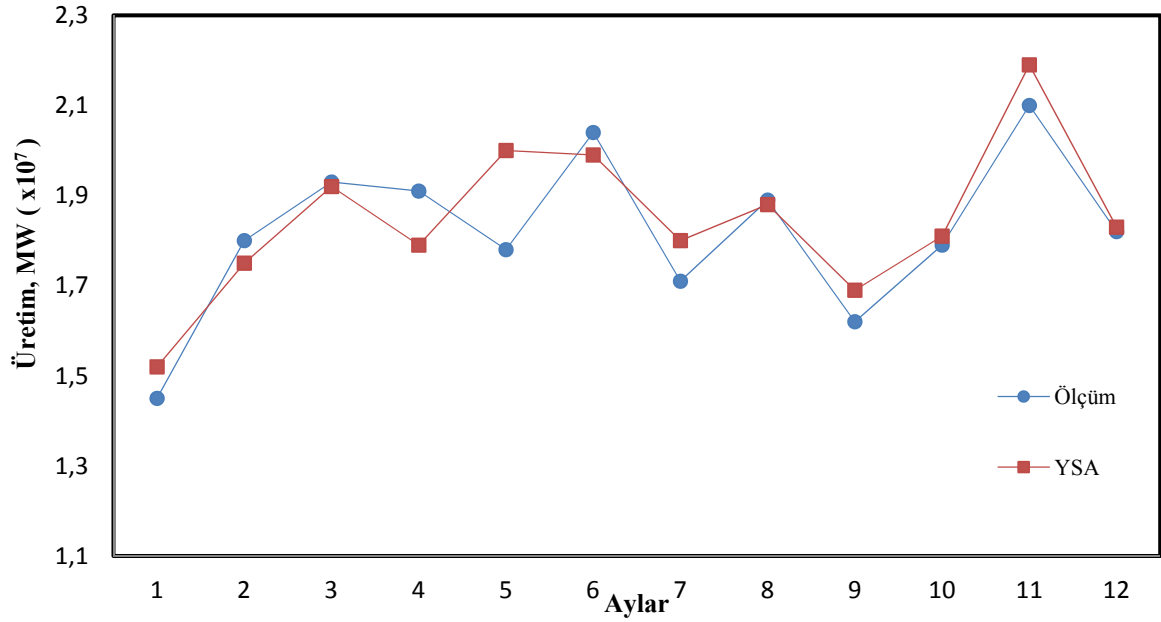
İkinci aşamada ise, meteorolojik parametrelere (nem, yağış miktarı, açık yüzey buharlaşma, basınç, bulutluluk ve sıcaklık) bağlı olarak Keban HES'in YSA ile verim ve üretim tahmini yapılmıştır. Ölçüm değerleri ile YSA ile belirlenen santral verim ve üretim değerleri arasındaki değişim grafikleri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir. Grafiklerde de görüldüğü üzere, meteorolojik parametrelere bağlı olarak yapılan modelin verim ve üretim tahminleri, gerçek değerlere yakın sonuçlar vermektedir. Ancak özellikle bahar aylarında, mevsim geçişlerinden kaynaklanan kararsızlığın sebep olduğu bazı küçük sapmalar görülmektedir.

Üçüncü aşamada ise, santral ve meteorolojik parametrelere bağlı olarak Keban HES'in YSA ile verim ve üretim tahmini yapılmıştır. Ölçüm değerleri ile YSA ile belirlenen santral verim ve üretim değerleri arasındaki değişim grafikleri ise Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmiştir. Bu grafiklerde de görüldüğü üzere, santral ve meteorolojik parametrelerin bir arada değerlendirilerek modelin girişinde kullanılması sonucu elde edilen verim ve üretim tahmin sonuçları gerçeğe en yakın sonuçlar vermiştir. Santral parametrelerinden olan gelen suyun debisi, buharlaşan su miktarı, suyun enerjiye oranı ve net düşü tamamıyla havanın meteorolojik durumuna bağlı olması sebebiyle, meteorolojik ve santral parametrelerin bir arada değerlendirilmesinin önemini ortaya çıkarmıştır.

5.2.1. Keban HES'in Santral Parametrelerine Bağlı Olarak Verim ve Üretiminin YSA ile Tahmini

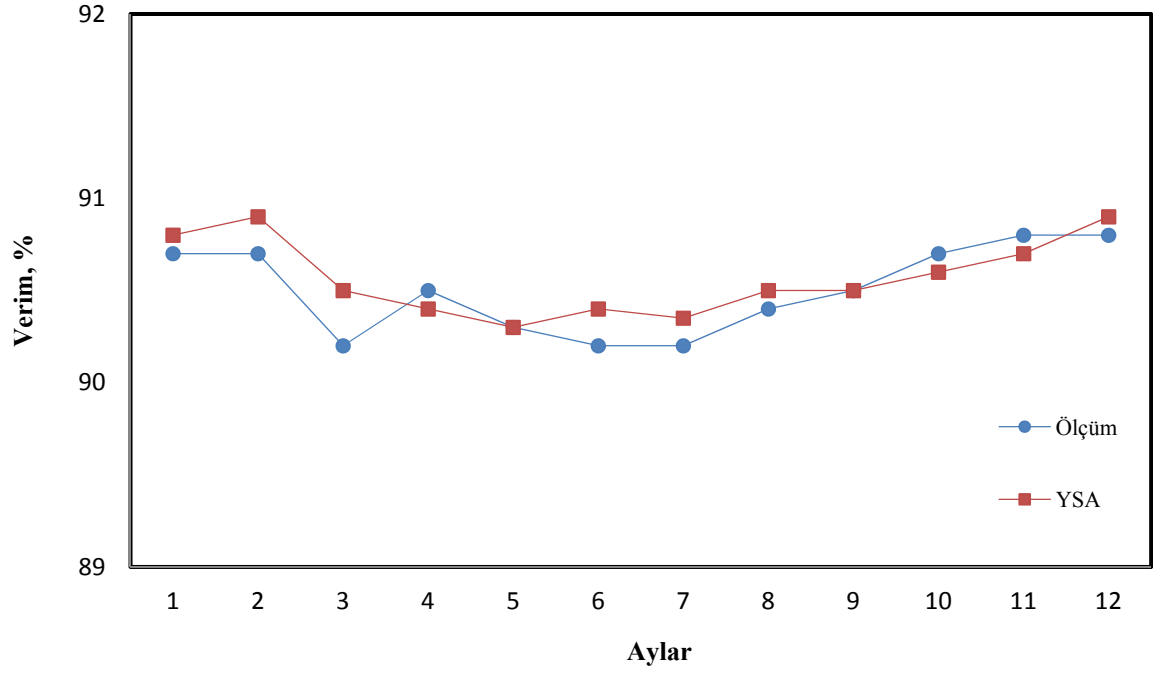


Şekil 5.7. Keban HES'in YSA ile belirlenen veriminin aylara göre değişimi (santral parametrelili)

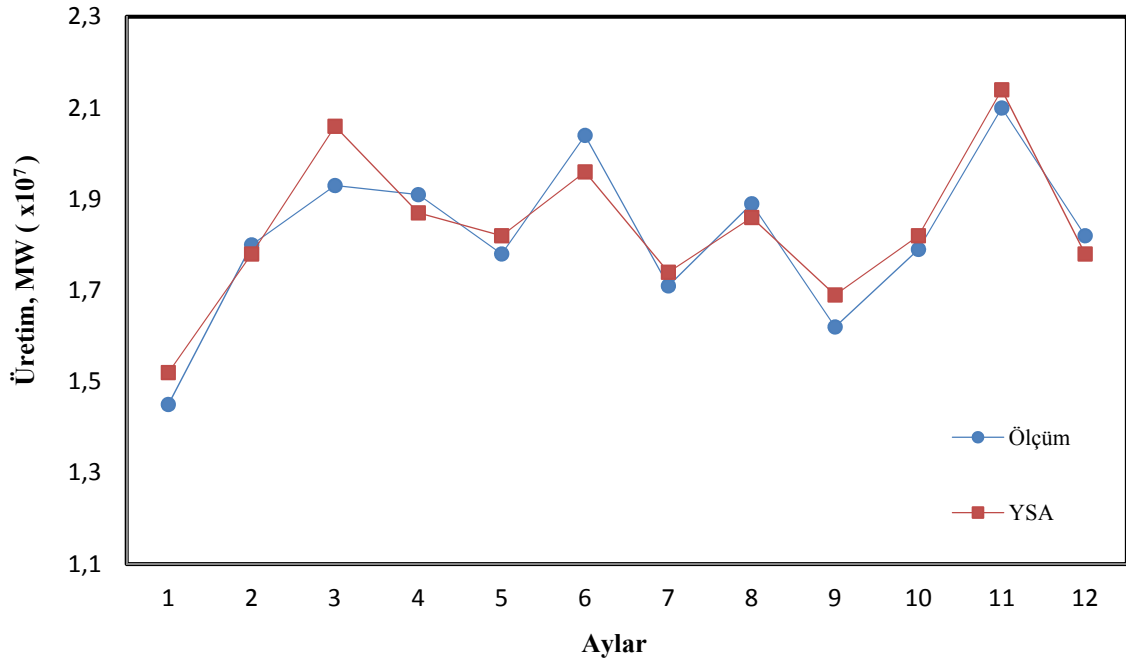


Şekil 5.8. Keban HES'in YSA ile belirlenen üretiminin aylara göre değişimi (santral parametrelili)

5.2.2. Keban HES'in Meteorolojik Parametrelerine Bağlı Olarak Verim ve Üretiminin YSA ile Tahmini

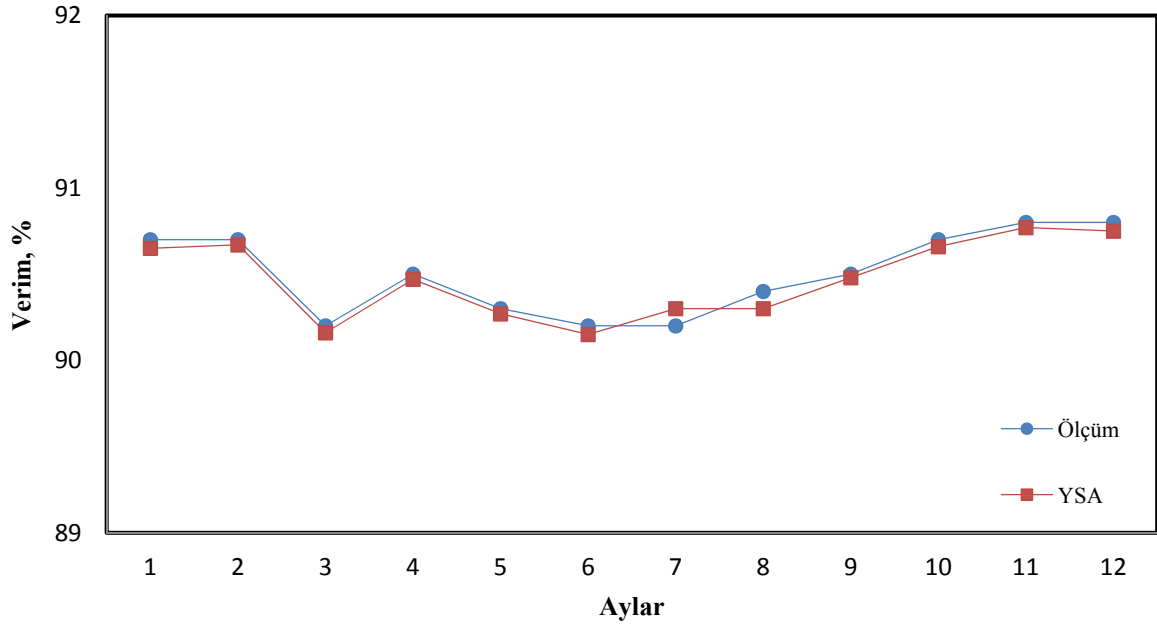


Şekil 5.9. Keban HES'in YSA ile belirlenen veriminin aylara göre değişimi (meteorolojik parametrelili)

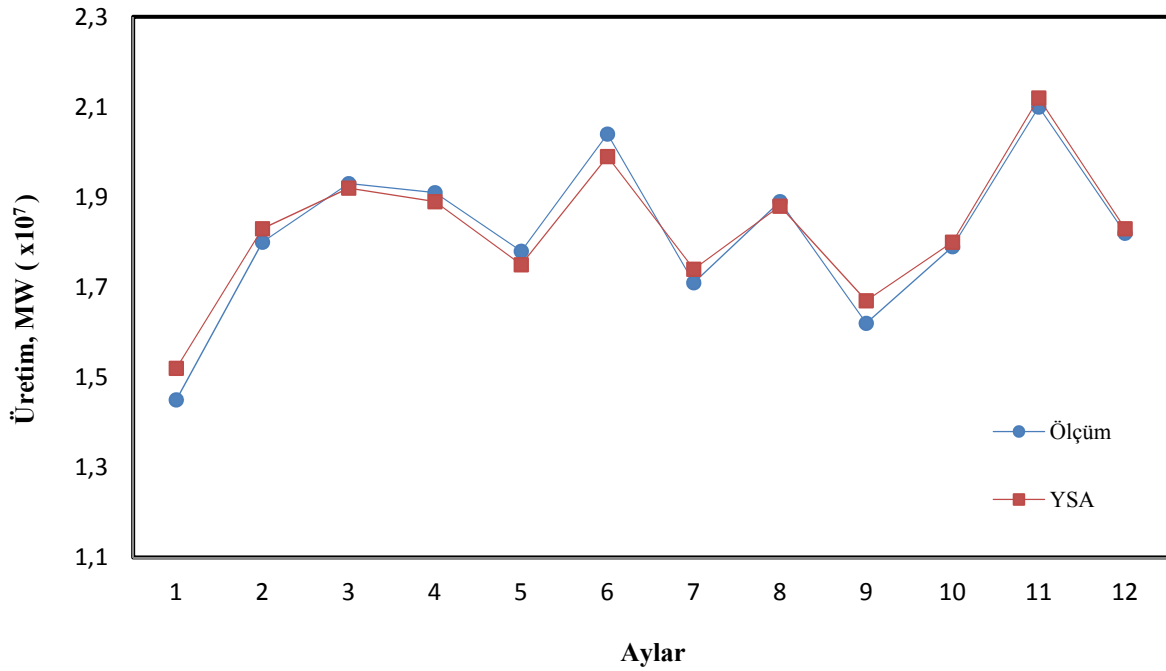


Şekil 5.10 Keban HES'in YSA ile belirlenen üretiminin aylara göre değişimi (meteorolojik parametrelili)

5.2.3. Keban HES'in Santral ve Meteorolojik Parametrelerine Bağlı Olarak Verim ve Üretiminin YSA ile Tahmini



Şekil 5.11. Keban HES'in YSA ile belirlenen veriminin aylara göre değişimi (santral ve meteorolojik parametrelili)



Şekil 5.12. Keban HES'in YSA ile belirlenen üretiminin aylara göre değişimi (santral ve meteorolojik parametrelili)

Yapılan YSA modellerinin performansları; R^2 , RMSE, COV ve MAE gibi istatistiksel parametreler kullanılarak tespit edilmiştir. Tablo 5.1’de, Keban HES’in YSA modelleri ile tahmini gerçekleştirilen verim ve üretim değerlerine ait performans kriterlerinin değişim aralıkları görülmektedir. Bu tablo da görüldüğü üzere; R^2 değerlerinin bire, RMSE ve MAE değerlerinin ise sıfıra yakın olmasından dolayı model tahminleri ile ölçüm değerleri arasındaki bağımlılığın güçlü olduğu söylenebilir. Performans kriterlerinden olan COV değerlerinin ise sıfıra yaklaşması değişkenliğin azaldığını, yüz sayısına yaklaşması ise değişkenliğin arttığını göstermektedir.

Tablo 5.1. Keban HES YSA model verileri için performans kriterleri değişim aralıkları

Keban HES	R^2	RMSE	COV, (%)	MAE
Verim (%)	0.9865-0.9999	0.0063-0.0615	0.0086-1.2072	0.0050-0.0458
Üretim (kWh)	0.9961-0.9998	0.0113-0.0498	0.0715-0.2981	0.0085-0.0337

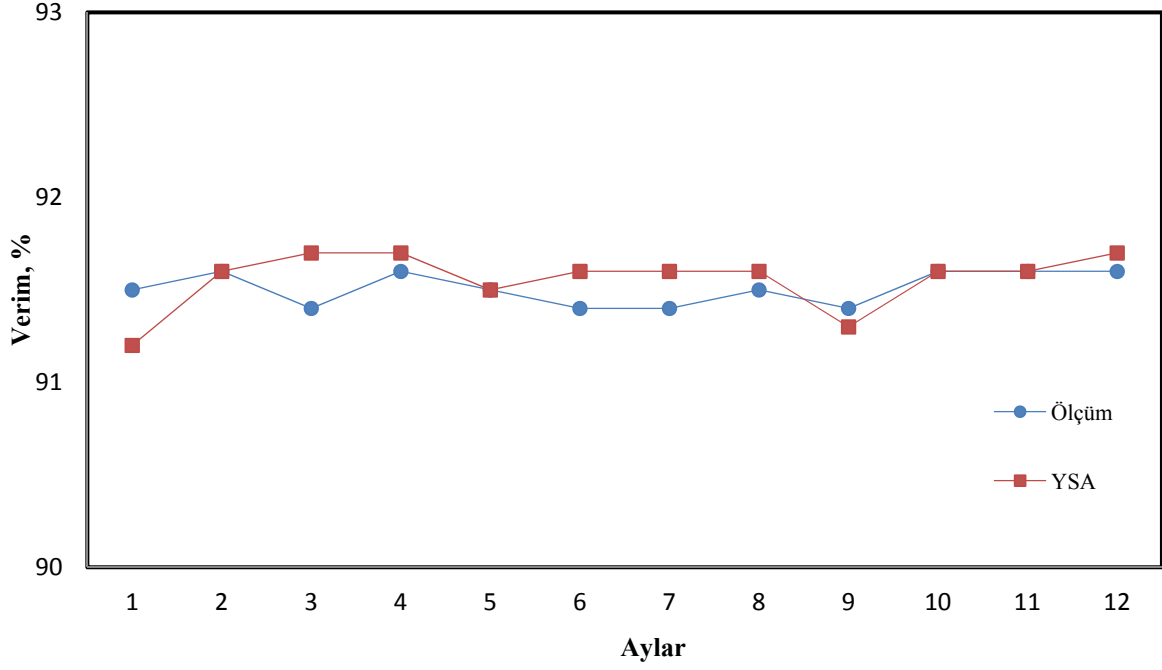
5.3. YSA İle Karakaya HES'in Enerji Verim ve Üretim Tahmini

YSA ile Karakaya HES'in enerji verim ve üretim tahmini Keban HES'deki gibi üç aşamada incelenmiştir. İlk olarak santral parametrelerine bağlı olarak verim ve üretim tahmini yapılmıştır. Ölçüm değerleri ile YSA ile belirlenen santral verim ve üretim değerleri arasındaki değişim grafikleri Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'de verilmiştir. Şekil 5.13'de görüldüğü üzere Karakaya HES'in santral parametrelere bağlı olarak geliştirilen modelin verim değerleri tahmininde, özellikle yaz aylarında küçük bir sapmanın olduğu sonucu çıkmaktadır. Üretimin aylara göre değişim grafiği olan Şekil 5.14'de ise, Türkiye'de elektrik tüketiminin değişkenlik göstermesinin bir sonucu olarak, üretimin YSA ile tahmininde yine bazı sapmaların olduğu görülmektedir.

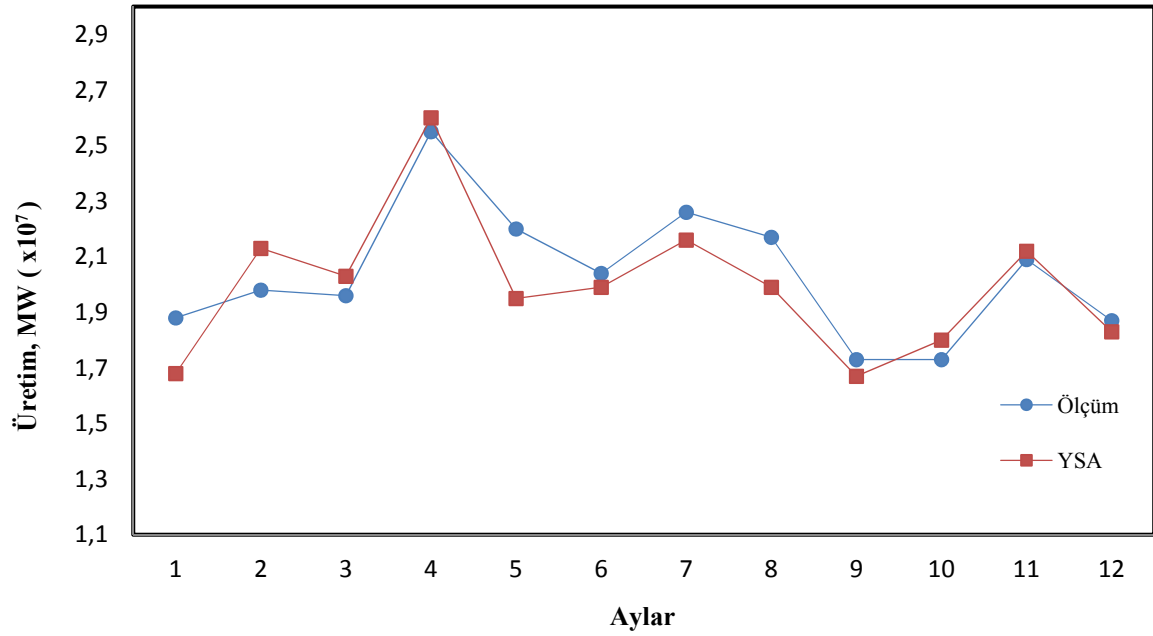
İkinci aşamada ise, meteorolojik parametrelere bağlı olarak Karakaya HES'in YSA ile verim ve üretim tahmini yapılmıştır. Ölçüm değerleri ile YSA ile belirlenen santral verim ve üretim değerleri arasındaki değişim grafikleri Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da verilmiştir. Grafiklerde de görüldüğü üzere, meteorolojik parametrelere bağlı olarak Karakaya HES'in verim ve üretim tahminleri, gerçek değerlere yakın sonuçlar vermektedir. Ancak özellikle bahar aylarında, mevsim geçişlerinden kaynaklanan kararsızlığın sebep olduğu bazı küçük sapmalar görülmektedir.

Üçüncü aşamada ise, santral ve meteorolojik parametrelere bağlı olarak Karakaya HES'in YSA ile verim ve üretim tahmini yapılmıştır. Ölçüm değerleri ile YSA ile belirlenen santral verim ve üretim değerleri arasındaki değişim grafikleri ise Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de verilmiştir. Bu grafiklerde de görüldüğü üzere, santral ve meteorolojik parametrelerin bir arada değerlendirilerek modelin girişinde kullanılması sonucu elde edilen verim ve üretim tahmin sonuçları gerçeğe en yakın sonuçlar vermiştir. Santral parametrelerinden olan gelen suyun debisi, buharlaşan su miktarı, suyun enerjiye oranı ve net düşü tamamıyla havanın meteorolojik durumuna bağlı olması sebebiyle, meteorolojik ve santral parametrelerin bir arada değerlendirilmesinin önemini ortaya çıkarmıştır.

5.3.1. Karakaya HES'in Santral Parametrelerine Bağlı Olarak Verim ve Üretiminin YSA ile Tahmini

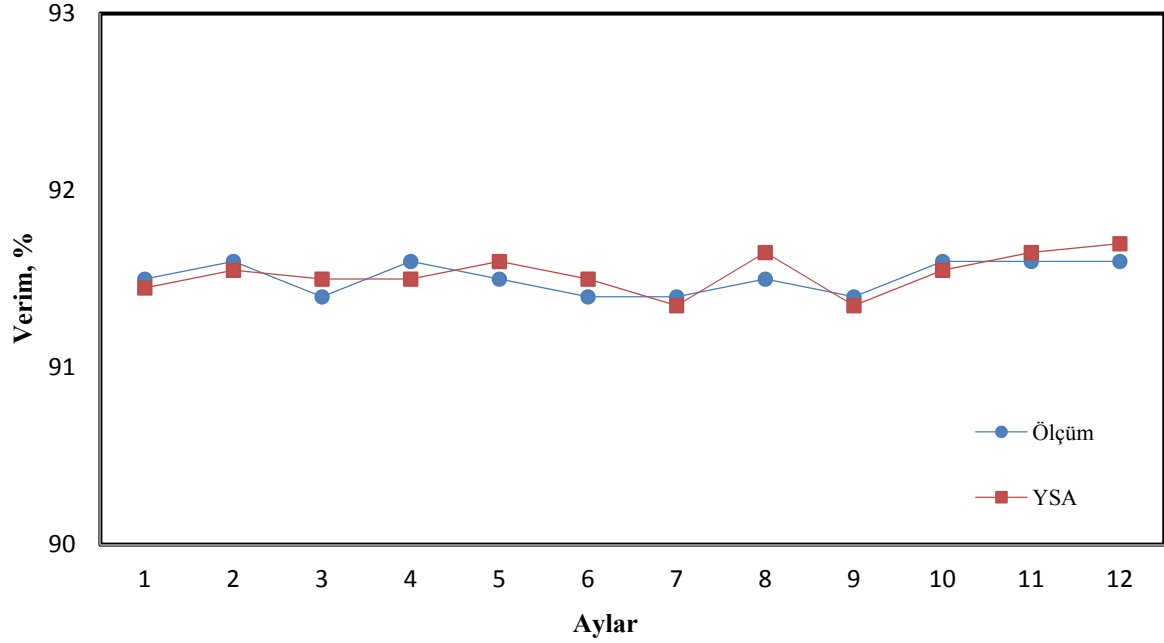


Şekil 5.13. Karakaya HES'in YSA ile belirlenen veriminin aylara göre değişimi (santral parametrelili)

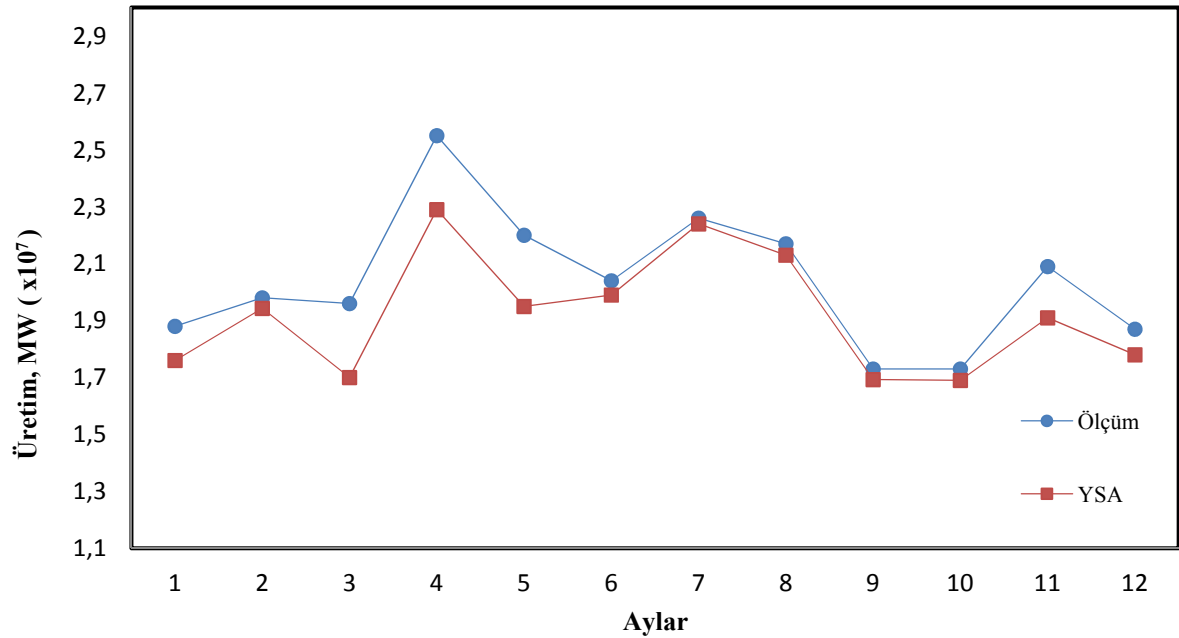


Şekil 5.14. Karakaya HES'in YSA ile belirlenen üretiminin aylara göre değişimi (santral parametrelili)

5.3.2. Karakaya HES'in Meteorolojik Parametrelerine Bağlı Olarak Verim ve Üretiminin YSA ile Tahmini

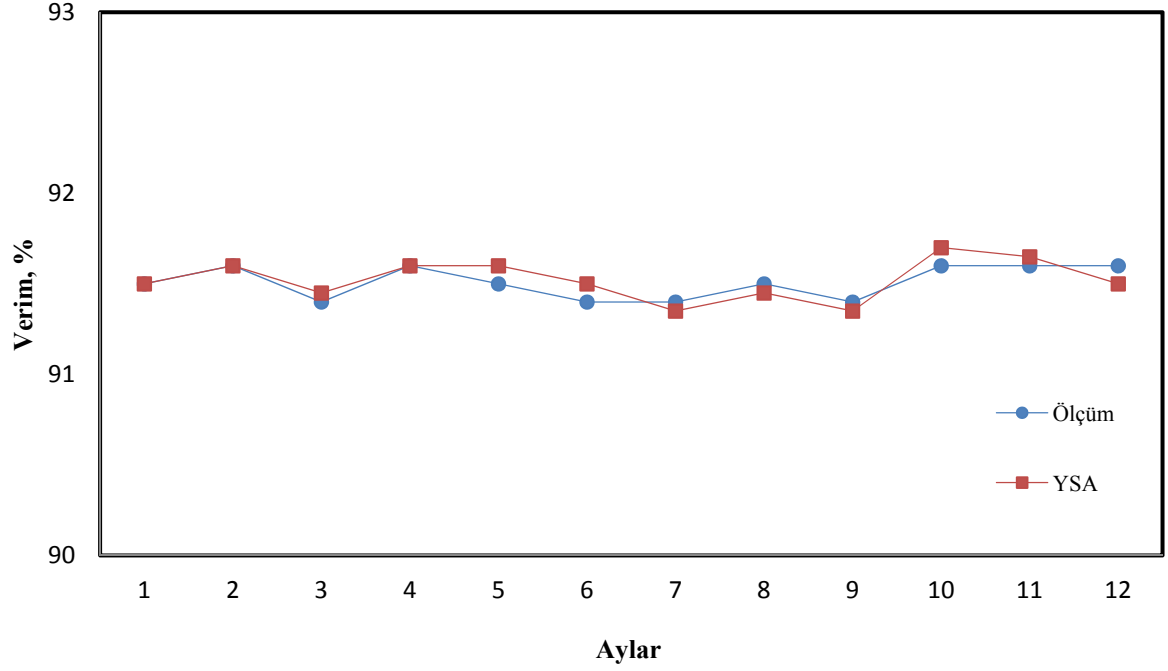


Şekil 5.15. Karakaya HES'in YSA ile belirlenen veriminin aylara göre değişimi (meteorolojik parametrelili)

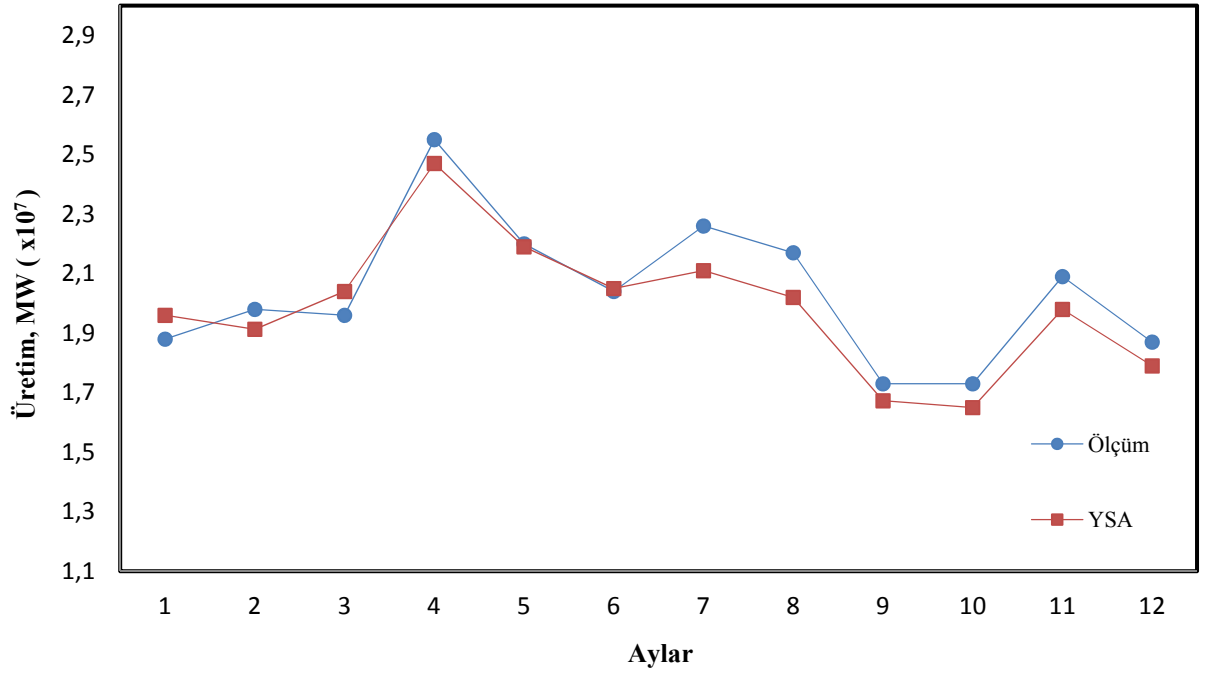


Şekil 5.16. Karakaya HES'in YSA ile belirlenen üretiminin aylara göre değişimi (meteorolojik parametrelili)

5.3.3. Karakaya HES'in Santral ve Meteorolojik Parametrelerine Bağlı Olarak Verim ve Üretiminin YSA ile Tahmini



Şekil 5.17. Karakaya HES'in YSA ile belirlenen veriminin aylara göre değişimi (santral ve meteorolojik parametrelili)



Şekil 5.18. Karakaya HES'in YSA ile belirlenen üretiminin aylara göre değişimi (santral ve meteorolojik parametrelili)

Tablo 5.2’de ise, Karakaya HES’in YSA modelleri ile tahmini gerçekleştirilen verim ve üretim değerlerine ait performans kriterlerinin değişim aralıkları görülmektedir. Bu tablo da görüldüğü üzere; R^2 değerlerinin bire, RMSE ve MAE değerlerinin ise sıfıra yakın olmasından dolayı model tahminleri (verim ve üretim değerleri için) ile ölçüm değerleri arasındaki bağımlılığın güçlü olduğu söylenebilir. Performans kriterlerinden olan COV değerlerinin ise sıfıra yaklaşması değişkenliğin azaldığını, yüz sayısına yaklaşması ise değişkenliğin arttığını göstermektedir.

Tablo 5.2. Karakaya HES YSA model verileri için performans kriterleri değişim aralıkları

Karakaya HES	R^2	RMSE	COV, (%)	MAE
Verim (%)	0.9872-0.9999	0.0060-0.0705	0.0088-1.1605	0.0063-0.0570
Üretim (kWh)	0.9969-0.9999	0.0080-0.0728	0.0023-0.2862	0.0069-0.0492

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde her yıl yaklaşık %8 artan enerji talebinin karşılanabilmesi için özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru bir yöneliş gösterilerek kaynak çeşitliliği oluşturulmalıdır. Halen dünyada enerjinin bel kemiğini oluşturan fosil kaynaklı yakıtlar gün geçtikçe hem tükenmekte, hem de fiyatları sürekli artan bir eğilim sergilemektedir. Ülke elektrik üretiminde doğalgaza bağımlılığımız düşünüldüğünde, elektrik enerjisi üretimimizin dışa bağımlılıktan kurtarılarak talebin kesintisiz, güvenilir ve düşük maliyetlerle karşılanması zaruret haline gelmiştir. Arz güvenliğimizin sağlanması; yeterli miktarda bulunan hidrolik enerji başta olmak üzere tüm yeni, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile mümkün olabilmektedir.

Doğu Anadolu Bölgesi'nin su ve elektrik enerjisi potansiyeli; ülke gayri safi milli hâsılasına her yıl milyarlarca dolar katkıda bulunulmasını sağlayarak, bölge insanı yanında ülke insanının da refah ve gelir düzeyini artırmada yardımcı olmaktadır. Özellikle Fırat havzası üzerinde bulunan Keban ve Karakaya hidroelektrik santrallerinin ülke ve özellikle bölge ekonomisine çok büyük katkısı bulunmaktadır. Sadece elektrik enerjisi olarak kuruluşundan beri 2012 yılı sonuna kadar Keban HES'in 227.849 GWh, Karakaya HES'in ise 183.977 GWh üretimde bulunmuştur. Bu üretimlerin kWh satışı 20 kuruş (13 cent) olarak hesaplandığında ülke ekonomisine yaklaşık toplam 55 milyar USD getirisi olmuştur. Bu gelir; ülke dış ticaret açığının daha çok artmasını engellediği gibi enerji arzımız açısından da çok önemlidir.

Ülke ekonomisine bu derece önemli katkısı olan hidroelektrik santrallerin, en verimli bir şekilde çalıştırılması ve maksimum düzeyde enerji üretmeleri için, verimi etkileyecek her türlü etkenlerin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Özellikle geçmiş dönemlerdeki meteorolojik değerlerin santralin veriminde ve üretiminde ne kadar bir etkisi olduğu incelenmeli, gelecek dönemlere dair verim ve üretim tahminlerinin hesaplamaları yapılmalıdır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle; her türlü bilim dalında yaygın bir kullanım alanı bulan yapay sinir ağları, üretim ve verim tahminlerinde de kullanılabilecektir. Ülkenin elektrik enerjisi ihtiyacının artacağı bilinen sonraki yıllar için, mevcut santrallerin üretebilecekleri enerji miktarlarının yaklaşık değerleri, büyük bir doğrulukla tahmin edilebilecektir.

Bu çalışmada, akıllı sistem uygulamalarının bir türü olan YSA ile Keban ve Karakaya HES için 2008-2012 yılları arasındaki 5 yıllık santral ve meteorolojik verilere göre, üretim ve verim tahmini yapılmıştır. Keban ve Karakaya hidroelektrik santralının üretim değeri, ve santralin enerji verimi yüksek bir performans ve çok düşük hatalarla tahmin edilmiştir. Verim ve üretim değerleri ileriye dönük tahmini için dört, altı ve on girişli, iki çıkışlı çok katmanlı, geri yayımlı bir sinir ağı algılayıcı modeli kullanılmıştır. YSA modelinin performansı orta katmandaki nöron sayısı, giriş sayısı, öğrenme katsayısı gibi parametreler ile iterasyon sayısı değiştirilerek, deneme yanılma yoluyla sağlanmıştır.

YSA modellerinin performansları; R^2 , RMSE, COV ve MAE gibi istatistiksel parametreler kullanılarak tespit edilmiştir. R^2 değerlerinin bire, RMSE ve MAE değerlerinin ise sıfıra yakın olmasından dolayı model tahminleri ile ölçüm değerleri arasındaki bağımlılığın güçlü olduğu söylenebilir. Performans kriterlerinden olan COV değerlerinin ise sıfıra yaklaşması değişkenliğin azaldığını, yüz sayısına yaklaşması ise değişkenliğin arttığını göstermektedir. Model performans kriterlerine göre (R^2 , RMSE, COV ve MAE) YSA modeli olan Keban ve Karakaya HES'in verim ve üretim verileri yüksek bir hassasiyetle tahmin edilmiştir.

Üç farklı YSA modellemesi yapılan bu çalışmada; sonuçlara göre verim ve üretim değerinin en az hata oranıyla tahmini, santral ve meteorolojik parametreleri bir arada giriş parametresi olarak aldığımızda elde edilmiştir. Sonuçta santral parametrelerinden olan gelen suyun debisi, buharlaşan su miktarı, suyun enerjiye oranı ve net düşü tamamıyla havanın meteorolojik durumuna bağlıdır. Bu sebepten dolayıdır ki, hem santral hem de meteorolojik veriler bir arada değerlendirilerek, santrallerin genel verim ve üretimlerinin ileriye dönük tahminleri akıllı sistem uygulamalarından olan YSA modellemeleriyle yapılmalıdır. Sonuçta bu çalışma diğer hidroelektrik santrallerine de uygulanarak, elektrik piyasasının arz talep dengesi için bir kaynak oluşturması sağlanabilecek ve ülkemizin enerji sektörüne ve dolayısı ile ekonomisine katkısı olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.teias.gov.tr>, TEİAŞ Yük Tevzi Raporları, 2013.
- [2] <http://www.dsi.gov.tr>, DSİ Stratejik Planlama ve Faaliyet Raporları, 2013.
- [3] <http://www.euas.gov.tr>, EÜAŞ Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporları, 2012-2013.
- [4] Işık, E., 2012. Türkiye’de ısıtım sistem tasarımı için kullanılan meteorolojik verilerin akıllı sistemlerle tahmini, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [5] Karakuş, M.Ö., 2011. Hidroelektrik santrallerde enerji veriminin iklim şartlarına bağlı olarak değişiminin yapay sinir ağıyla analizi, Hirfanlı barajı uygulama örneği, *1. Anadolu Enerji Sempozyumu*, F.Ü., Elazığ, 22-24 Haziran, s. 662-671.
- [6] Nalbant, A., Yaşar, C., Aslan, Y., 2006. Kütahya ilinin yapay sinir ağıları kullanılarak elektrik puant yük tahmini, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **11**, 63-74.
- [7] Kişi, Ö., 2005. Yapay sinir ağıları ile meteorolojik veriler kullanarak buharlaşmanın modellenmesi, *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu*, BMYS’2005, Kocaeli, 16-18 Kasım, s. 790-797.
- [8] Hamzaçebi, C., Kutay, F., 2004. Yapay sinir ağıları ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.*, **19**, 227-233.
- [9] Azadeh, A., Maghsoudi, A., Sohrabkhani, S., 2009. An integrated artificial neural Networks approach for predicting global radiation, *Energy Conversion and Management*, **50**, 1497-1505.
- [10] Partal, T., 2007. Türkiye yağış miktarlarının yapay sinir ağıları ve dalgacık dönüşümü yöntemleri ile tahmini, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Trafalis, T.B., Richman, M.B., White, A., Sansota, B., 2002. Data mining techniques for improved WSR-88D rainfall estimation. *Computers&Industrial Engineering*, **43**, 775-786.
- [12] Doğan, E., 2009. Katı madde konstrasyonunun yapay sinir ağılarını kullanarak tahmin edilmesi, *İMO Teknik Dergi*, **302**, 4567-4582.

- [13] **Önal, S.**, 2009. Yapay sinir ağıları metodu ile Kızılırmak Nehri'nin akım tahmini, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [14] **Çevik, E.**, 2009. Yapay sinir ağıları ile yağış tahmini, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [15] **Doğan, E., Işık, S., Sandalcı, M.**, 2007. Günlük buharlaşmanın yapay sinir ağıları kullanarak tahmin edilmesi, *İMO Teknik Dergi*, **271**, 4119-4131.
- [16] **Behrang, M. A., Assareh, E., Ghanbarzadeh, A., Noghrehabadi, A. R.**, 2010. The potential of different artificial neural network (ANN) techniques in daily global solar radiation modeling based on meteorological data, *Solar Energy*, **84**, 1468-1480.
- [17] **Rehman, S., Mohandes, M.**, 2008. Artificial neural network estimation of global solar radiation using air temperature and relative humidity, *Energy Policy*, **36**, 571-576.
- [18] **Sözen A., Arcakhoğlu, E.**, 2005. Solar potential in Turkey, *Applied Energy*, **80**, 35-45.
- [19] **Farade, D. A.**, 2009. Modeling of solar energy potential in Nigeria using an artificial neural network model, *Applied Energy*, **86**, 1410-1422.
- [20] **Elminir, H. K., Areed, F. F., Elsayed, T. S.**, 2005. Estimation of solar radiation components incident on Helwan site using neural networks, *Solar Energy*, **79**, 270-279.
- [21] **Mubiru, J., Banda, E.J.K.B.**, 2008. Estimation of monthly average daily global solar irradiation using artificial neural Networks, *Solar Energy*, **82**, 181-187.
- [22] **Işık, E., İnallı, M.**, 2011. Yapay sinir ağlarının meteorolojik parametrelere uygulanması ve örnek uygulama, *1. Anadolu Enerji Sempozyumu*, F.Ü., Elazığ, 22-24 Haziran, s. 635-641.
- [23] **Başesme, H.**, 2003. Hidrolik Santraller ve Hidrolik Santral Tesisleri, EÜAŞ Genel Müdürlüğü Ankara.
- [24] **Pala, R.**, 2007. Hidroelektrik Santrallerde Türbin Verimliliğinin Termodinamik Metotla Ölçülmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [25] **EÜAŞ Hidroelektrik Santrallerin Verimliliğinin Araştırılmasına Yönelik Ar-Ge Komisyonu Raporu**, Ankara, 2004.
- [26] **Öztemel, E.**, 2003. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yay. İstanbul, **232**, s. 28-110.
- [27] **Coşan, A.**, 2006. Yapay sinir ağıları ile Türkiye'nin elektrik enerjisi ihtiyacının 2020 yılına kadar tahmini, *Lisans Bitirme Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

- [28] **Gündüz, A.**, 2011. Fırat-Dicle Havzasında Günlük Nehir Akımlarının Farklı Yapay Zeka Yöntemleri İle Tahmini, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bil. Enst., Elazığ.
- [29] EÜAŞ Keban HES İşletme Raporları, 2012.
- [30] EÜAŞ Karakaya HES İşletme Raporları, 2012.
- [31] Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Veri Raporları, (www.tumas.mgm.gov.tr).

EK 1. YSA Modellemesi için kullanılan Keban HES verileri

YIL-AY	KEBAN HES SANTRAL VERİLERİ					
	NET DÜŞÜ (m)	SUYUN ENERJİYE ORANI (m ³ /kWh)	BUHARLAŞAN SU (m ³)	GELEN SUYUN DEBİSİ (m ³ /s)	VERİM (%)	TOPLAM AKTİF ÜRETİM (kWh)
2008-OCAK	131.17	3.048	383101	218.52	90.034	21283282.26
2008-ŞUBAT	130.77	3.081	432852	220.03	89.572	16159078.621
2008-MART	130.53	3.066	589967	1200.04	89.944	13291473.55
2008-NİSAN	133.51	2.982	1121036	1171.22	90.407	14761887.67
2008-MAYIS	136.68	2.813	2186833	652.35	89.672	11323419.03
2008-HAZİRAN	136.48	2.921	3007714	355.08	90.327	13530810
2008-TEMMUZ	133.91	2.968	3749075	246.51	90.561	18153572.26
2008-AĞUSTOS	132.01	3.020	3420947	199.06	90.290	16832936.45
2008-EYLÜL	130.33	3.070	2318976	138.30	89.969	11201338
2008-EKİM	130.04	3.074	1264539	195.21	90.043	7124050.645
2008-KASIM	129.19	3.102	557611	192.50	89.824	9923200.667
2008-ARALIK	128.48	2.824	396788	181.06	89.688	9009580.645
2009-OCAK	126.67	3.197	347831	214.47	88.912	10048717.1
2009-ŞUBAT	127.70	3.134	413952	454.72	89.944	4873913.929
2009-MART	130.41	3.060	585211	1013.63	90.187	5367060.968
2009-NİSAN	135.90	2.926	1151731	1421.12	90.550	4031307.667
2009-MAYIS	141.68	2.812	2354610	1226.89	90.369	3668931.29
2009-HAZİRAN	143.52	2.772	3389483	651.32	90.483	11542689
2009-TEMMUZ	142.90	2.781	4368346	404.67	90.577	15618493.87
2009-AĞUSTOS	141.43	2.807	4111177	261.22	90.673	17805725.81
2009-EYLÜL	139.68	2.842	2817960	177.98	90.673	15764528.33
2009-EKİM	137.87	2.879	1512493	172.52	90.689	15374088.71
2009-KASIM	137.40	2.887	667368	460.78	90.723	13217901
2009-ARALIK	137.63	2.882	476830	462.40	90.743	12298846.45

EK 1 Devamı. YSA Modellemesi için kullanılan Keban HES verileri

YIL-AY	KEBAN HES SANTRAL VERİLERİ					
	NET DÜŞÜ (m)	SUYUN ENERJİYE ORANI (m ³ /kWh)	BUHARLAŞAN SU (m ³)	GELEN SUYUN DEBİSİ (m ³ /s)	VERİM (%)	TOPLAM AKTİF ÜRETİM (kWh)
2010-OCAK	139.43	2.841	439488	1040.03	90.856	12938674.58
2010-ŞUBAT	140.17	2.826	538035	963.09	90.850	22174263.93
2010-MART	142.00	2.793	748772	1491.61	90.749	24134501.94
2010-NİSAN	144.09	2.758	1389588	1443.89	90.576	29192276
2010-MAYIS	146.76	2.722	2650750	1452.85	90.087	27030605.48
2010-HAZİRAN	147.70	2.704	3694115	822.73	90.095	24171062.33
2010-TEMMUZ	147.48	2.710	4725932	358.78	90.040	19491673.55
2010-AĞUSTOS	145.28	2.740	4431701	271.90	90.408	22509708.71
2010-EYLÜL	143.54	2.767	3028443	213.55	90.628	20401711.03
2010-EKİM	141.51	2.802	1615700	213.09	90.782	20844649.03
2010-KASIM	139.25	2.843	695834	246.98	90.901	21804239.83
2010-ARALIK	137.95	2.875	481133	239.73	90.751	17379222.1
2011-OCAK	136.92	2.851	423173	303.90	90.662	12414308.71
2011-ŞUBAT	136.57	2.909	497246	429.57	90.606	10741497.14
2011-MART	138.18	2.783	685243	693.30	89.680	8713187.742
2011-NİSAN	141.87	2.803	1299303	1750.60	90.523	8441297.333
2011-MAYIS	147.21	2.715	2640489	1610.84	90.064	18312628.71
2011-HAZİRAN	148.07	2.697	3717248	927.55	90.120	26107723.33
2011-TEMMUZ	148.32	2.698	4766982	441.02	89.948	16971450
2011-AĞUSTOS	146.82	2.722	4504323	312.40	90.066	20082225.16
2011-EYLÜL	145.40	2.746	3117626	229.13	90.156	18918004
2011-EKİM	143.47	2.773	1681811	266.65	90.474	21692450
2011-KASIM	141.14	2.812	720037	287.50	90.696	25173598
2011-ARALIK	139.00	2.853	496528	171.31	90.762	20243581.29

EK 1 Devamı. YSA Modellemesi için kullanılan Keban HES verileri

YIL-AY	KEBAN HES SANTRAL VERİLERİ					
	NET DÜŞÜ (m)	SUYUN ENERJİYE ORANI (m ³ /kWh)	BUHARLAŞAN SU (m ³)	GELEN SUYUN DEBİSİ (m ³ /s)	VERİM (%)	TOPLAM AKTİF ÜRETİM (kWh)
2012-OCAK	137.55	2.885	428450	303.61	90.690	18222282
2012-ŞUBAT	135.15	2.939	490697	241.24	90.610	21234089
2012-MART	131.83	3.026	618620	388.18	90.240	25101825
2012-NİSAN	133.97	2.971	1124821	1951.13	90.450	19557813
2012-MAYIS	141.91	2.797	2341957	1404.79	90.690	7991923
2012-HAZİRAN	144.22	2.757	3383386	579.58	90.510	10873439
2012-TEMMUZ	143.5	2.768	4358876	343.30	90.620	14861561
2012-AĞUSTOS	142.55	2.785	4144242	275.03	90.660	14161322
2012-EYLÜL	142.49	2.785	2921425	234.71	90.690	9306762
2012-EKİM	141.34	2.804	1624143	182.91	90.820	11209498
2012-KASIM	139.93	2.832	721785	250.75	90.820	16098705
2012-ARALIK	138.45	2.860	491795	376.58	90.890	17061122

EK 2. YSA Modellemesi için kullanılan Keban HES Meteorolojik veriler

YIL-AY	KEBAN HES METEOROLOJİK VERİLER					
	NEM (%)	YAĞIŞ MİKTARI (mm)	AÇIK YÜZEY BUHARLAŞMA (mm)	BASINÇ (hPa)	BULUTLULUK	SICAKLIK (°C)
2008-OCAK	68.27	3.098	0.01	884.31	3.72	-7.44
2008-ŞUBAT	72.26	2.170	0.01	886.79	4.57	-6.01
2008-MART	62.69	1.243	0.01	880.24	4.79	7.03
2008-NİSAN	57.02	1.257	3.36	879.65	4.90	13.42
2008-MAYIS	57.56	1.981	5.05	878.16	4.18	14.43
2008-HAZİRAN	44.81	0.365	8.37	877.20	1.65	21.91
2008-TEMMUZ	35.28	0.035	10.83	874.78	0.70	26.72
2008-AĞUSTOS	38.96	0.136	9.50	876.46	2.13	27.33
2008-EYLÜL	45.98	0.936	6.68	879.45	2.26	21.33
2008-EKİM	61.05	1.027	3.05	883.97	3.33	14.12
2008-KASIM	68.70	2.858	0.13	885.11	4.09	7.99
2008-ARALIK	75.59	2.547	0.01	886.01	5.23	-1.22
2009-OCAK	73.93	2.081	0.01	885.66	5.49	-3.86
2009-ŞUBAT	79.36	5.357	0.01	879.83	8.20	1.25
2009-MART	67.21	4.802	0.01	878.25	6.08	4.37
2009-NİSAN	60.12	2.499	2.10	878.37	4.83	10.33
2009-MAYIS	53.38	0.952	5.29	879.41	3.24	16.51
2009-HAZİRAN	49.23	0.667	7.81	879.57	3.53	22.64
2009-TEMMUZ	46.48	0.379	9.03	874.74	2.47	25.62
2009-AĞUSTOS	39.57	0.124	8.65	877.28	0.92	25.08
2009-EYLÜL	49.55	1.362	5.76	879.13	2.62	19.14
2009-EKİM	57.48	2.282	3.95	882.81	2.82	15.66
2009-KASIM	72.82	3.781	0.18	882.08	4.67	6.93
2009-ARALIK	78.91	4.445	0.01	881.03	7.71	3.80

EK 2 Devamı. YSA Modellemesi için kullanılan Keban HES Meteorolojik veriler

YIL-AY	KEBAN HES METEOROLOJİK VERİLER					
	NEM (%)	YAĞIŞ MİKTARI (mm)	AÇIK YÜZEY BUHARLAŞMA (mm)	BASINÇ (hPa)	BULUTLULUK	SICAKLIK (°C)
2010-OCAK	75.87	7.981	0.01	891.43	7.52	1.41
2010-ŞUBAT	70.62	1.583	0.01	887.81	7.58	4.16
2010-MART	58.76	2.275	0.01	889.80	5.58	8.96
2010-NİSAN	61.19	2.684	2.05	889.09	5.35	11.83
2010-MAYIS	59.24	1.816	4.76	887.41	4.30	16.88
2010-HAZİRAN	46.79	0.682	7.75	885.61	2.79	23.75
2010-TEMMUZ	41.69	0.243	9.82	884.33	1.29	28.43
2010-AĞUSTOS	37.14	0.132	9.43	886.28	0.98	28.14
2010-EYLÜL	42.19	0.110	6.78	888.91	1.65	23.78
2010-EKİM	62.88	1.973	1.99	890.96	4.62	14.69
2010-KASIM	58.20	0.010	0.08	895.29	1.63	8.66
2010-ARALIK	71.82	2.174	0.01	892.93	4.93	3.94
2011-OCAK	73.14	2.547	0.01	892.15	4.45	0.14
2011-ŞUBAT	71.29	3.699	0.01	888.40	4.36	0.06
2011-MART	56.14	2.877	0.01	892.19	3.42	5.76
2011-NİSAN	65.94	6.176	1.75	887.06	2.57	10.72
2011-MAYIS	62.08	2.592	3.54	889.35	4.18	15.07
2011-HAZİRAN	43.13	1.244	7.18	885.82	1.69	21.69
2011-TEMMUZ	33.82	0.316	8.89	884.99	1.23	27.36
2011-AĞUSTOS	29.15	0.035	9.13	885.09	0.85	27.12
2011-EYLÜL	35.42	0.278	6.27	888.21	1.76	21.27
2011-EKİM	48.08	0.845	2.51	892.06	2.73	13.11
2011-KASIM	64.92	2.419	0.06	893.25	3.82	2.24
2011-ARALIK	75.28	1.535	0.01	886.85	3.87	-1.18

EK 2 Devamı. YSA Modellemesi için kullanılan Keban HES Meteorolojik veriler

YIL-AY	KEBAN HES METEOROLOJİK VERİLER					
	NEM (%)	YAĞIŞ MİKTARI (mm)	AÇIK YÜZEY BUHARLAŞMA (mm)	BASINÇ (hPa)	BULUTLULUK	SICAKLIK (°C)
2012-OCAK	81.50	4.410	0.01	890.80	5.95	-1.70
2012-ŞUBAT	75.00	5.180	0.01	890.30	3.69	-5.40
2012-MART	66.00	2.270	0.01	890.40	3.71	0.30
2012-NİSAN	56.50	2.150	2.44	889.60	3.64	11.60
2012-MAYIS	57.40	2.170	4.54	888.60	4.11	16.80
2012-HAZİRAN	35.00	0.360	7.66	887.20	1.38	23.50
2012-TEMMUZ	29.60	0.230	9.74	884.70	1.49	26.40
2012-AĞUSTOS	26.60	0.010	9.01	885.50	1.07	27.20
2012-EYLÜL	30.50	0.320	6.69	889.60	0.79	22.20
2012-EKİM	56.60	1.700	2.62	893.10	3.65	15.40
2012-KASIM	72.90	2.580	0.10	893.50	4.04	9.10
2012-ARALIK	80.20	6.110	0.01	891.60	5.48	1.90

EK 3. YSA Modellemesi için kullanılan Karakaya HES verileri

YIL-AY	KARAKAYA HES SANTRAL VERİLERİ					
	NET DÜŞÜ (m)	SUYUN ENERJİYE ORANI (m ³ /kWh)	BUHARLAŞAN SU (m ³)	GELEN SUYUN DEBİSİ (m ³ /s)	VERİM (%)	TOPLAM AKTİF ÜRETİM (kWh)
2008-OCAK	149.73	2.668	52175.58	466.11	91.263	17510945
2008-ŞUBAT	149.33	2.672	60406.82	434.72	91.391	16135823
2008-MART	148.61	2.684	120945.66	421.02	91.416	15653634
2008-NİSAN	146.63	2.715	206375.36	455.29	91.587	20722907
2008-MAYIS	147.21	2.703	709186.77	698.10	91.625	14057715
2008-HAZİRAN	150.28	2.650	1561124.52	861.28	91.553	18045198
2008-TEMMUZ	150.29	2.660	2487667.56	576.06	91.223	21908168
2008-AĞUSTOS	150.03	2.663	2221292.56	662.45	91.279	18672393
2008-EYLÜL	150.30	2.657	1569181.95	629.37	91.318	20064072
2008-EKİM	150.39	2.653	1006203.07	730.33	91.386	21026755
2008-KASIM	150.07	2.660	126809.17	873.40	91.336	26541990
2008-ARALIK	150.18	2.642	59415.87	715.49	91.901	25156458
2009-OCAK	140.04	2.837	43755.39	414.04	91.780	12762908
2009-ŞUBAT	141.78	2.805	51198.50	261.54	88.464	7473966
2009-MART	142.72	2.786	105453.33	314.63	91.699	5995521
2009-NİSAN	144.66	2.760	189846.95	270.76	91.338	4091324
2009-MAYIS	145.35	2.742	665603.71	192.86	91.493	5147713
2009-HAZİRAN	143.76	2.766	1367294.55	402.54	91.683	13436727
2009-TEMMUZ	143.38	2.779	2125823.78	523.86	91.706	18603968
2009-AĞUSTOS	141.21	2.815	1893108.50	603.46	91.715	19619601
2009-EYLÜL	140.52	2.832	1309726.84	551.60	91.625	19184311
2009-EKİM	140.23	2.839	805113.82	546.74	91.588	16422427
2009-KASIM	140.50	2.831	102511.42	498.73	91.660	14480800
2009-ARALIK	141.23	2.814	48910.49	493.73	91.732	12146050

EK 3 Devamı. YSA Modellemesi için kullanılan Karakaya HES verileri

YIL-AY	KARAKAYA HES SANTRAL VERİLERİ					
	NET DÜŞÜ (m)	SUYUN ENERJİYE ORANI (m ³ /kWh)	BUHARLAŞAN SU (m ³)	GELEN SUYUN DEBİSİ (m ³ /s)	VERİM (%)	TOPLAM AKTİF ÜRETİM (kWh)
2010-OCAK	142.23	2.792	45230.37	548.22	91.833	14765749
2010-ŞUBAT	145.07	2.747	55798.91	813.50	91.497	10130803
2010-MART	148.47	2.688	123584.58	893.63	91.360	18197374
2010-NİSAN	148.52	2.688	220327.96	1004.46	91.323	28850100
2010-MAYIS	149.14	2.674	763879.58	906.12	91.429	29285801
2010-HAZİRAN	150.06	2.665	1580515.65	794.63	91.157	24544895
2010-TEMMUZ	149.51	2.671	2489425.53	647.82	91.324	23278309
2010-AĞUSTOS	147.70	2.693	2197600.30	753.00	91.665	27188172
2010-EYLÜL	148.75	2.683	1539083.50	681.12	91.353	20636702
2010-EKİM	149.30	2.671	966673.73	719.39	91.419	21028075
2010-KASIM	148.55	2.682	123220.42	749.66	91.500	24065297
2010-ARALIK	149.71	2.668	58383.04	639.13	91.289	20996882
2011-OCAK	149.73	2.668	52175.58	466.11	91.263	17510946
2011-ŞUBAT	149.33	2.672	60406.82	434.72	91.391	16135823
2011-MART	148.61	2.684	120945.66	421.02	91.416	15653634
2011-NİSAN	146.63	2.715	206375.36	455.29	91.587	20722908
2011-MAYIS	147.21	2.703	709186.77	698.10	91.625	14057716
2011-HAZİRAN	150.28	2.650	1561124.52	861.28	91.553	18045198
2011-TEMMUZ	150.29	2.660	2487667.56	576.06	91.223	21908168
2011-AĞUSTOS	150.03	2.663	2221292.56	662.45	91.279	18672393
2011-EYLÜL	150.30	2.657	1569181.95	629.37	91.318	20064072
2011-EKİM	150.39	2.653	1006203.07	730.33	91.386	21026755
2011-KASIM	150.07	2.660	126809.17	873.40	91.336	26541990
2011-ARALIK	150.18	2.642	59415.87	715.49	91.901	25156459

EK 3 Devamı. YSA Modellemesi için kullanılan Karakaya HES verileri

YIL-AY	KARAKAYA HES SANTRAL VERİLERİ					
	NET DÜŞÜ (m)	SUYUN ENERJİYE ORANI (m ³ /kWh)	BUHARLAŞAN SU (m ³)	GELEN SUYUN DEBİSİ (m ³ /s)	VERİM (%)	TOPLAM AKTİF ÜRETİM (kWh)
2012-OCAK	150.15	2.653	53584.72	675.42	91.450	24106665
2012-ŞUBAT	146.66	2.706	60802.72	790.20	91.870	33273963
2012-MART	147.40	2.704	120763.59	962.55	91.480	25006729
2012-NİSAN	148.88	2.666	216689.06	878.86	91.860	26808151
2012-MAYIS	147.97	2.693	693944.26	390.79	91.500	22689269
2012-HAZİRAN	145.63	2.736	1404927.02	400.99	91.510	18728799
2012-TEMMUZ	142.96	2.782	2183285.70	517.83	91.690	22636484
2012-AĞUSTOS	141.66	2.809	1918675.21	506.37	91.630	19267885
2012-EYLÜL	141.10	2.818	1318617.59	332.70	91.710	11310916
2012-EKİM	141.82	2.799	859922.31	411.31	91.880	9772067
2012-KASIM	142.58	2.785	111170.27	589.48	91.830	12039522
2012-ARALIK	145.99	2.732	55216.67	647.47	91.460	9998402

EK 4. YSA Modellemesi için kullanılan Karakaya HES Meteorolojik veriler

YIL-AY	KARAKAYA HES METEOROLOJİK VERİLER					
	NEM (%)	YAĞIŞ MİKTARI (mm)	AÇIK YÜZEY BUHARLAŞMA (mm)	BASINÇ (hPa)	BULUTLULUK	SICAKLIK (°C)
2008-OCAK	51.21	1.941	0.01	960.10	3.52	-1.14
2008-ŞUBAT	56.37	1.569	0.01	965.56	4.27	1.01
2008-MART	48.15	0.833	0.75	954.69	4.46	11.58
2008-NİSAN	39.31	0.354	5.98	954.87	4.59	16.80
2008-MAYIS	37.91	1.156	7.29	952.74	3.64	18.31
2008-HAZİRAN	25.46	0.281	11.57	950.85	1.12	25.89
2008-TEMMUZ	19.87	0.001	13.48	946.75	0.47	30.39
2008-AĞUSTOS	22.48	0.025	10.93	947.88	2.36	31.09
2008-EYLÜL	31.16	1.191	7.95	954.01	2.29	24.18
2008-EKİM	49.94	1.580	3.90	958.38	3.21	17.01
2008-KASIM	56.27	2.320	0.61	962.19	4.12	10.79
2008-ARALIK	61.77	1.785	0.02	962.17	5.15	3.10
2009-OCAK	64.50	1.418	0.01	961.56	4.84	2.01
2009-ŞUBAT	74.05	3.705	0.01	958.40	6.53	5.38
2009-MART	61.84	2.836	0.37	954.19	5.29	7.78
2009-NİSAN	55.10	1.277	3.56	955.02	3.94	12.56
2009-MAYIS	43.23	0.450	6.36	954.40	2.26	18.74
2009-HAZİRAN	37.02	0.364	9.12	953.06	2.91	26.01
2009-TEMMUZ	34.06	0.233	11.21	947.37	1.80	28.72
2009-AĞUSTOS	26.64	0.036	10.28	950.08	0.43	27.61
2009-EYLÜL	38.93	0.945	7.35	954.35	1.72	22.09
2009-EKİM	48.11	2.113	4.30	957.75	2.62	18.59
2009-KASIM	71.36	2.265	0.74	959.37	3.92	9.62
2009-ARALIK	78.95	4.162	0.01	957.52	6.73	7.12

EK 4 Devamı. YSA Modellemesi için kullanılan Karakaya HES Meteorolojik veriler

YIL-AY	KARAKAYA HES METEOROLOJİK VERİLER					
	NEM (%)	YAĞIŞ MİKTARI (mm)	AÇIK YÜZEY BUHARLAŞMA (mm)	BASINÇ (hPa)	BULUTLULUK	SICAKLIK (°C)
2010-OCAK	75.71	4.817	0.01	958.39	6.54	5.23
2010-ŞUBAT	70.75	1.123	0.01	958.37	6.68	6.84
2010-MART	58.65	1.514	0.51	955.86	4.94	11.21
2010-NİSAN	54.82	0.907	4.43	955.68	4.30	14.37
2010-MAYIS	49.28	0.927	6.75	952.21	3.04	20.37
2010-HAZİRAN	37.57	0.339	9.70	950.66	2.10	26.53
2010-TEMMUZ	28.61	0.075	11.93	947.51	0.80	31.30
2010-AĞUSTOS	25.16	0.001	11.31	949.37	0.41	31.21
2010-EYLÜL	35.32	0.083	7.97	953.83	1.21	26.23
2010-EKİM	56.60	1.685	3.58	956.18	3.85	17.23
2010-KASIM	44.59	0.001	0.76	961.83	1.28	11.93
2010-ARALIK	68.27	2.744	0.20	958.74	4.50	6.94
2011-OCAK	69.18	2.231	0.01	959.11	3.82	3.85
2011-ŞUBAT	66.35	2.189	0.01	958.62	3.75	4.41
2011-MART	53.41	1.500	0.48	958.70	2.92	8.93
2011-NİSAN	68.06	4.669	3.25	954.04	4.95	12.84
2011-MAYIS	61.52	2.207	4.58	954.72	3.45	17.58
2011-HAZİRAN	36.58	0.383	9.29	950.92	1.30	25.11
2011-TEMMUZ	28.27	0.051	11.34	948.28	0.85	30.92
2011-AĞUSTOS	26.07	0.024	10.83	948.61	0.55	30.17
2011-EYLÜL	30.01	0.146	8.02	953.45	1.28	24.52
2011-EKİM	42.44	0.755	4.07	957.77	2.17	15.95
2011-KASIM	59.43	2.598	0.35	960.87	3.15	6.17
2011-ARALIK	71.26	1.605	0.39	961.70	3.28	2.97

EK 4 Devamı. YSA Modellemesi için kullanılan Karakaya HES Meteorolojik veriler

YIL-AY	KARAKAYA HES METEOROLOJİK VERİLER					
	NEM (%)	YAĞIŞ MİKTARI (mm)	AÇIK YÜZEY BUHARLAŞMA (mm)	BASINÇ (hPa)	BULUTLULUK	SICAKLIK (°C)
2012-OCAK	80.10	4.780	0.01	927.10	5.44	2.20
2012-ŞUBAT	68.40	3.450	0.01	926.00	3.71	1.30
2012-MART	55.40	1.390	0.84	926.30	3.51	5.30
2012-NİSAN	53.10	1.130	4.47	924.10	2.85	15.20
2012-MAYIS	56.60	1.810	5.25	922.80	3.41	19.10
2012-HAZİRAN	29.20	0.150	9.27	920.60	0.95	26.90
2012-TEMMUZ	23.10	0.160	11.78	917.50	0.81	30.10
2012-AĞUSTOS	23.50	0.010	11.08	918.40	0.71	30.20
2012-EYLÜL	25.90	0.160	8.15	922.90	0.46	25.40
2012-EKİM	54.90	3.120	3.93	927.50	3.26	18.20
2012-KASIM	74.20	2.480	0.56	928.80	3.24	11.90
2012-ARALIK	81.20	5.910	0.06	928.00	4.61	5.20

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 1994 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden, 1998 yılında mezun oldu. 1998-2001 yılları arasında TEAŞ Karakaya Hidroelektrik Santralinde Makina Bakım ve İşletme Mühendisi olarak görev yaptı. 2001-2012 yılları arasında EÜAŞ Keban Hidroelektrik santralinde Makina Başmühendisi olarak görev yaptı. 2012 yılında kurum değişikliği yaparak geçtiği TEİAŞ 13. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü'nde halen çalışmaya devam etmektedir. Evli ve 2 çocuk babasıdır.

Kenan İNALLI