

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK BARAJLI BİR SİSTEMDE KURAK DÖNEM GÖZETİLEREK
VERİ TAHMİNİ İLE ENERJİ YÖNETİMİ

MİNE EBREM

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK BARAJLI BİR SİSTEMDE KURAK DÖNEM GÖZETİLEREK
VERİ TAHMİNİ İLE ENERJİ YÖNETİMİ

MİNE EBREM

Prof Dr. Mücahit OPAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Onur ÖZTÜRK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Temel TEMİZ
Jüri Üyesi, Yalova Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.06.2024

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Mine EBREM

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Mine EBREM

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, enerji üretim hedefli biriktirme tesisleri içeren su membaları sistemleri üzerine yapılan araştırmalar sunulmaktadır. Çalışma kapsamında, Sakarya Havzası'nın Orta Sakarya Havzası'nda bulunan barajların enerji üretim kapasiteleri ve işletme seviyeleri incelenmiş, yapay sinir ağları modeli kullanılarak gelecekteki akım tahminleri yapılmış ve iki aşamalı optimizasyon modeli uygulanmıştır. Bu araştırmanın amacı, barajlardan elde edilen enerjinin enbüyüklenmesi ve güvenilir güç seviyelerinin optimize edilmesidir. Tez çalışması boyunca elde edilen bulgular, ileriye dönük enerji planlaması ve riskli su yönetimi üzerine yapılacak çalışmalara katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bana destek olan birçok kişi ve kuruma teşekkürü bir borç bilirim.

Öncelikle, çok barajlı sistemler üzerinde çalışma imkânı tanıyan Danışman Hocam Prof. Dr. Mücahit OPAN' a teşekkürlerimi sunarım. Onun rehberliği ve desteği olmadan bu çalışmayı tamamlamak mümkün olmazdı.

Manevi desteğini benden hiç esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili annem Selamet EBREM' e, sevgili babam Hayrettin EBREM' e ve tüm aileme içten teşekkürlerimi sunarım. Onların varlığı ve desteği, bu sürecin en zorlu anlarında bile bana güç ve motivasyon kaynağı olmuştur.

Son olarak, tez çalışmam süresince bana destek veren tüm arkadaşlarıma ve akademik kariyerimde bana yol gösteren tüm hocalarıma teşekkür ederim. Bu çalışmanın, su membaları yönetimi ve enerji üretimi alanında faydalı bir katkı sağlamasını umuyorum.

Haziran-2024

Mine EBREM

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇOK BARAJLI SİSTEMLERDE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	4
3. ÇOK BARAJLI SİSTEMLERİN MODELLENMESİ.....	14
3.1. Sistemin Tanımlanması.....	14
3.2. Uzun Süreli Planlama	17
3.3. Veri Tahmini.....	19
3.3.1. Nöronlar ve Bağlantı Formülü.....	22
3.3.2. Aktarım İşlevi	22
3.3.3. Nöronların Mimarisi	23
3.3.4. Zaman Serili Yapay Sinir Ağları	25
3.4. Kullanılan Program.....	27
3.4.1. Modellere Giren Veriler	28
4. UYGULAMA BÖLGESİ; ORTA SAKARYA HAVZASI	29
4.1 Yukarı Sakarya Alt Havzası	29
4.2 Porsuk Alt Havzası	30
4.3 Ankara/Kirmir Alt Havzası.....	31
4.4 Göksu Alt Havzası	32
4.5 Aşağı Sakarya Alt Havzası	32
4.6 Orta Sakarya Alt Havzası	33
5. ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	44
5.1. Yapay Sinir Ağları (YSA) Modeli Kullanılarak Üretilen Akımların Tahmin Edilmesi	44
5.2. Tahmini Durum İçin Modelden Elde Edilen Uzun Süreli Optimal İşletme Sonuçları	47
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR.....	51
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Ardışık olarak bağlanmış biriktirme tesislerinden oluşan bir su kaynağı sisteminin şematik görünümü.....	14
Şekil 3.2. Herhangi bir i-barajının t-zamanındaki işletim değişkenleri.....	14
Şekil 3.3. Yapay sinir ağının yapısı.....	21
Şekil 3.4. İleri beslemeli sinir ağı modelinin şeması.....	24
Şekil 3.5. Geri beslemeli sinir ağı modelinin şeması	25
Şekil 3.6. Uzun ve kısa vadeli işletme modellerine yönelik yazılım yapısı	27
Şekil 4.1. Sakarya Havzası ve alt havzaları.....	29
Şekil 4.2. Gürsöğüt Barajı	33
Şekil 4.3. Kargı Barajı	33
Şekil 4.4. Sarıyar Barajı.....	33
Şekil 4.5. Gökçekaya Barajı	34
Şekil 4.6. Yenice Barajı	34
Şekil 4.7. Gürsöğüt Barajı Kot-Alan-Hacim Eğrisi.....	36
Şekil 4.8. Kargı Barajı Kot-Alan-Hacim Eğrisi	36
Şekil 4.9. Sarıyar Barajı Kot-Alan-Hacim Eğrileri	37
Şekil 4.10. Gökçekaya Barajı Kot-Alan-Hacim Eğrileri.....	37
Şekil 4.11. Yenice Barajı Kot-Alan-Hacim Eğrileri.....	38
Şekil 4.12. Gürsöğüt Barajına gelen aylık ortalama akımlar ($10^6/m^3/ay$).....	39
Şekil 4.13. Kargı Barajına gelen aylık ortalama akımlar ($10^6/m^3/ay$)	40
Şekil 4.14. Sarıyar Barajına gelen aylık ortalama akımlar ($10^6/m^3/ay$).....	41
Şekil 4.15. Gökçekaya Barajına gelen aylık ortalama akımlar ($10^6/m^3/ay$)	42
Şekil 4.16. Yenice Barajına gelen aylık ortalama akımlar ($10^6/m^3/ay$)	43

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Transfer fonksiyonlarının matematiksel formları	23
Tablo 4.1. Yukarı Sakarya Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri	30
Tablo 4.2. Porsuk Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri	30
Tablo 4.3. Ankara Çayı Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri	31
Tablo 4.4. Kirmir Çayı Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri	31
Tablo 4.5. Göksu Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri	32
Tablo 4.6. Aşağı Sakarya Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri	32
Tablo 4.7. Orta Sakarya Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri	34
Tablo 4.8. Orta Sakarya Alt Havzasına ait Barajların Teknik Özellikleri	35
Tablo 4.9. Gürsöğüt Barajına havzasından gelen aylık ortalama akımlar	39
Tablo 4.10. Kargı Barajına havzasından gelen aylık ortalama akımlar	40
Tablo 4.11. Sarıyar Barajına havzasından gelen aylık ortalama akımlar	41
Tablo 4.12. Gökçekaya Barajına havzasından gelen aylık ortalama akımlar	42
Tablo 4.13. Yenice Barajına havzasından gelen aylık ortalama akımlar	43
Tablo 5.1. Gürsöğüt Barajına havzasından gelecek tahmini ay bazında ortalama debi değerleri	44
Tablo 5.2. Kargı Barajına havzasından gelecek tahmini ay bazında ortalama debi değerleri	45
Tablo 5.3. Sarıyar Barajına havzasından gelecek tahmini ay bazında ortalama debi değerleri	45
Tablo 5.4. Gökçekaya Barajına havzasından gelecek tahmini ay bazında ortalama debi değerleri	46
Tablo 5.5. Yenice Barajına havzasından gelecek tahmini aylık ortalama akım değerleri	46
Tablo 5.6. YSA modeli ile elde edilen tahmini kurak dönem aylık değerleri	47
Tablo 5.7. Tahmini kurak dönem aylık değerlerine göre işletme seviyeleri	47
Tablo 5.8. YSA tahmininde kurak dönem aylık değerlerine göre enerji üretimi için bırakılan su miktarı	47
Tablo 5.9. Tahmini kurak dönem aylık değerlerine göre dolusavaktan bırakılan debi değerleri	48
Tablo 5.10. Tahmini kurak dönem aylık değerlerine göre aylık güç değerleri	48
Tablo 5.11. YSA modeli ile elde edilen tahmini aylık ortalama debi değerleri	48
Tablo 5.12. Tahmini aylık ortalama debi değerlerine göre aylık normal işletme seviyeleri	49
Tablo 5.13. Tahmini aylık ortalama debi değerlerine göre enerji üretimi için bırakılan su miktarı	49
Tablo 5.14. Tahmini aylık ortalama debi değerlerine göre dolusavaktan bırakılan debi değerleri	49
Tablo 5.15. Tahmini aylık ortalama debi değerlerine göre aylık güç değerleri	49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$B_{i,t}$	: t-zamanında i-barajında oluşan buharlaşma kaybı
dk_i	: i- tesisinde tünel çapı ve sürtünmeye bağlı bir katsayı
$F_{i,t}$	: t-zamanda i-barajının havzasından gelen debi miktarı
$(h_f)_{i,t}$	: i- tesisinde t-zamandaki sürtünme kaynaklı yük kaybı
$h_{i,t}$	: i- tesisinde t-zamandaki ortalama net düşü
$h_{i,t}^*$	: Tüneldeki sürtünme kaynaklı kayıplar dikkate alınmadan önce i- tesisinde t-zamandaki ortalama su yüksekliği
k_i	: Enerji elde etme katsayısı
l_i	: i- tesisindeki taşıma tünelinin uzunluğu
M	: Baraj Sayısı
P_{k_i}	: i- tesisi için kurulu güç
p_G	: Güvenilir enerji birim fiyatı
p_S	: Sekonder enerji birim fiyatı
P_G	: En üst düzeyde güvenilir güç
$Q_{i,t}$	: t-zamanda i-barajından enerji elde edilmesi için salınan debi miktarı
Q_i^{Maks}	: i- tesisten enerji elde edilmesi için bırakılabilecek azami su ölçüsü
$R_{i,t}$	: t-zamanda i-barajında dolu savaktan tahliye edilen debi miktarı
R_i^{Maks}	: i- tesiste dolu savaktan bırakılabilecek azami su ölçüsü
$S_{i,t}$	: t-zamanda i- barajında biriktirilen su miktarı
S_i^{Maks}	: i- tesisinde biriktirilen azami su miktarı
S_i^{Min}	: i-tesisinde biriktirilen asgari su miktarı
$S_{i,t}^{Min}$	: Aylık Minimum İşletme Seviyesi
$S_{i,t}^{Nor}$	: Aylık Normal İşletme Seviyesi
W_i^{Maks}	: i- tesisinde akarsu kanalına bırakılabilecek azami su ölçüsü (taşkın yönetimi için güvenli akım)
$W_{i,t}$	: t-zamanında i-tesisinde akarsu kanalına salınması gereken asgari su ölçüsü (sulama suyu, kirlilik kontrolünün sağlanması, ulaşım gibi hedefler, gözetilerek)
KM	: İşletme Süresi (ay)

Kısaltmalar

AI	: Artificial Intelligence (Yapay Zekâ)
ASCA	: Adaptive Sine-Cosine Algorithm (Adaptif Sinüs Kosinüs Algoritması)
DP	: Dynamic Programming (Dinamik Programlama)
DPSA	: Dynamic Programming with Sequential Approximation (Ardışık Yaklaşıtmalı Dinamik Programlama)
EA	: Evolutionary Algorithm (Evrimsel Algoritma)

GA	:	Genetic Algorithm (Genetik Algoritma)
LP	:	Linear Programming (Doğrusal Programlama)
MHA	:	Metaheuristic Algorithms (Meta-Sezgisel Algoritmalar)
MINLP	:	Mixed Integer Nonlinear Programming (Karışık Tam sayılı Doğrusal Olmayan Programlama)
NLP	:	Nonlinear Programming (Doğrusal Olmayan Programlama)
POA	:	Optimality Algorithm (Optimallik Algoritması)
YSA	:	Yapay Sinir Ağı



ÇOK BARAJLI BİR SİSTEMDE KURAK DÖNEM GÖZETİLEREK VERİ TAHMİNİ İLE ENERJİ YÖNETİMİ

ÖZET

Su membaları planlaması ve yönetimi karmaşık bir süreç olup, istenilen hedefler ve kriterler doğrultusunda hedefleri gerçekleştirmek belirli bir organizasyonu gerektirmektedir. Bu çalışma, çok barajlı bir sistemde kurak dönem gözetilerek veri tahmini ile enerji yönetimi üzerinedir. Bu çalışmada, hidroelektrik santralleri olan biriktirme tesislerinden, yani barajlardan, oluşmuş bir su membaları sistemi tanımlanmıştır. Bu sistemde uzun vadeli planlama kapsamında OPAN tarafından geliştirilmiş enerji elde edilmesi hedefli optimizasyon modeli kullanılmıştır. Bu modelde optimizasyon tekniği olarak ardışık yaklaşıtırmalı dinamik programlama kullanılmış olup, hedef fonksiyonu iki aşamalıdır. Hedef fonksiyonunun birinci aşamasında kurak dönem akımları kullanılarak aylık asgari işletme seviyeleri ve güvenilir enerji değeri edilmiştir. Hedef fonksiyonunun ikinci aşamasında kısıt olarak güvenilir enerji ve aylık ortalama akımlar kullanılarak aylık normal işletme seviyeleri ve toplam enerji maksimize edilmiştir. Kurak dönem akımları belirlenirken zaman serili yapay sinir ağıları kullanılmıştır. Model bölgesi olarak Sakarya Havzasının Orta Sakarya Alt Havzasında bulunan enerji elde edilmesi hedefli biriktirme tesislerine uygulanmıştır. Sonuç olarak, elde edilen veriler incelendiğinde, tahmin edilen kurak dönem akımlarının havzaya ait ortalama, minimum ve maksimum akımlara uygun olduğu ve büyük hacimli biriktirme tesislerinin optimizasyon sürecini yönettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Optimizasyon, Orta Sakarya Havzası, Su Biriktirme Tesisleri, Yapay Sinir Ağları.

ENERGY MANAGEMENT WITH DATA FORECASTING CONSIDERING THE DROUGHT PERIOD IN A MULTIPLE RESERVOIRS SYSTEM

ABSTRACT

Water resources planning and management is a complex process, and achieving the goals in line with the desired goals and criteria requires a certain organization. This study is about energy management with data forecasting considering the dry season in a multi-dam system. In this study, a water resources system consisting of accumulation facilities, namely dams, which are hydroelectric power plants, is defined. In this system, the energy production optimization model developed by OPAN within the scope of long-term planning was used. In this model, dynamic programming with sequential approximation is used as the optimization technique, and the objective function has two stages. In the first stage of the objective function, monthly minimum operating levels and reliable energy were evaluated by using dry period flows. In the second stage of the objective function, monthly normal operating levels and total energy were maximized by using reliable energy and monthly average flows as constraints. Time series artificial neural networks were used when determining dry period flows. It was applied to the storage facilities for energy production purposes located in the Central Sakarya Sub-Basin of the Sakarya Basin as the model region. As a result, when the data obtained was examined, it was seen that the estimated dry period flows were in accordance with the average, minimum and maximum flows of the basin and that large-volume accumulation facilities managed the optimization process.

Keywords: Energy, Optimization, Central Sakarya Basin, Water Storage Facilities, Artificial Neural Networks.

1. GİRİŞ

Su sistemlerinin planlanması, ulusal ekonomi ve hedeflenen refah düzeyi ile entegre olmuş, geniş kapsamlı ve komplike bir süreçtir. Su sistemlerinin planlanması ve yönetimi, belirlenen hedefler ve kriterler doğrultusunda hedeflerine ulaşmayı sağlamak için belirli bir organizasyon yapısı gerektiren karmaşık bir süreçtir.

Çok barajlı sistemlerin çok yönlü en iyi şekilde işletilmesi, mevcut koşullara en uygun olacak şekilde gerçek zamanlı olarak ele alınabilir. Ancak, sistemin işletme stratejilerinin sağlamlığını ve etkinliğini optimize etmek için uzun ve kısa vadeli planlama çalışmalarının entegrasyonu hayati önem taşır. Bu tip sistemlerin uzun vadeli planlaması, sistemin işletme süresi boyunca sağlanacak faydanın maksimum seviyeye çıkarılmasını hedefler. Bu nedenle, sistemin en uygun şekilde boyutsal olarak ayarlanması ve uzun vadeli en iyi işletme politikalarının yanı sıra bu politikalara bağlı risklerin belirlenmesi, uzun vadeli planlama çerçevesinde bütüncül olarak değerlendirilmelidir. Bu bağlamda dikkate alınacak amaçlar arasında enerji açığa çıkarılması (güvenilir ve toplam enerji), sulama suyu ihtiyacının karşılanması, kirlilik kontrolünün sağlanması, ekolojik dengenin korunumu ve ulaşımın sağlanması gibi alanlar yer alır; bu hedefler genellikle aylık ortalama akışlar veya belirleyici süreç akışları ile ilişkilidir (Opan , 2007).

Taşkın yönetimi veya kuraklık yönetimi (düşük akışların desteklenmesi) gibi hedefler de, uzun vadeli planlamanın bir parçası olarak tekrar aralıkları açısından önemli görülse de, bu süreçlerin bahsedilen sistem tarafından kontrol edilmesi, kısa vadeli (genellikle günlük veya saatlik düzeydeki akışlar olarak) işletme optimizasyonu kapsamında dikkate alınmalıdır.

Karmaşık işletme optimizasyon problemlerini çözmek ve uzun vadeli planlamada en iyi sonuçları elde etmek için ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama (DPSA) tercih edilir. Belirleyici süreç (kurak dönem) aylık su akışları baz alınarak güvenilir güç seviyesi (en az %95 güvenilirlik) ve aylık minimum işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Min}$) belirlenir. Bu güvenilir güç seviyesi, aynı modelde bir kısıtlama olarak kullanılarak aylık ortalama su akışları ile toplam enerji elde edilme potansiyeli en üst düzeye çıkarılır ve aylık normal

işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Nor}$) belirlenir. Burada, $i=1,2,3.. M$, M :Baraj adedini, $t=1,2,3,...KM$, KM :İşletme zamanını (ay olarak) göstermektedir (Opan , 2007).

İşletmelerin kısa vadeli planlamasında ve optimizasyonunda da ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama (DPSA) adlı güçlü bir teknik kullanılmaktadır. Bu yöntem, barajlardaki taşkın riskini en aza indirirken, sistemden beklenen faydayı (enerji elde edilmesi vb.) maksimize etmeye yardımcı olur.

DPSA, kaynağı baraj havzası olan tasarım oluşturma hedefli taşkın hidrografi akım verileriyle taşkın emniyeti debi kısıtı ve ek taşkın yönetim hacmi kullanımıyla barajdan tahliye edilen akımları optimize eder. Bu optimizasyon, barajın güvenliğini ve sistemden elde edilen faydayı dengeleyerek en uygun çözümü bulmayı amaçlar (Opan , 2007).

Kullanılan ek taşkın yönetim hacimleri, işletme sonucu elde edilen işletme seviyelerinden çıkarılarak optimum taşkın yönetim seviyeleri belirlenir. Bu sayede, barajın hem taşkın riskine karşı korunması hem de sistemden en yüksek faydanın sağlanması mümkün olur.

Sakarya Havzası, su membaları açısından oldukça zengin bir bölgedir. Bu zenginliğin en önemli temsilcilerinden biri de Sakarya Nehri'dir. Nehir boyunca, birbirine ardışık olarak inşa edilmiş barajlar, Sakarya Havzası'nın su potansiyelini etkin bir şekilde yönetmeyi ve değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır. Bu sisteme ait barajlar, enerji oluşturulması, sulama yapılma hedefli, içme suyu ihtiyacının sağlanması ve taşkından koruma hedefli olarak planlanmışlardır. Sakarya Havzası 6 alt havzadan oluşmaktadır. Bunlar Yukarı Sakarya Alt Havzası, Porsuk Alt Havzası, Ankara/Kirmir Alt Havzası, Orta Sakarya Alt Havzası, Göksu Alt Havzası ve Aşağı Sakarya Alt Havzası şeklindedir. Enerji Planlaması kapsamında seçilen Orta Sakarya Havzası'na ait barajlar, sırasıyla, Gürsöğüt, Kargı, Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice barajlarıdır. Bu barajlardan Gürsöğüt ve Kargı yapım aşamasında olup, barajların teknik ayrıntıları, Bölüm 4' de verilmektedir.

Bu çalışmada uzun süreli planlama kapsamında Opan tarafından geliştirilmiş enerji verimliliği hedefli optimizasyon modeli kullanılacaktır. Bu modelde optimizasyon tekniği olarak ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama kullanılmış olup, hedef fonksiyonu iki aşamalıdır. Amaç fonksiyonunun birinci aşamasında kurak dönem akımları kullanılarak aylık minimum işletme seviyeleri ve güvenilir enerji elde

edilecektir. Hedef fonksiyonun ikinci aşamasında kısıt olarak güvenilir enerji ve aylık ortalama akımlar kullanılarak aylık normal işletme seviyeleri ve toplam enerji maksimize edilecektir. Kurak dönem akımları belirlenirken zaman serili yapay sinir ağıları kullanılacaktır. Veri olarak 1974 ila 2012 yılları arasındaki havzaya ait aylık ortalama akımlar ile tahmini akımlar elde edilecektir (Opan , 2007).



2. ÇOK BARAJLI SİSTEMLERDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Son on yılda dünya ekonomisinde görülen hızlı gelişmeler nedeniyle küresel su ve enerji tüketimi önemli ölçüde artmıştır. Rezervuarlar genellikle su-enerji kaynaklarının kullanıldığı verimliliği artırmak için en başarılı teknik çözümlerden biri olarak kabul edilir. Bugüne kadar önemli sayıda rezervuar tamamlanmış ve hizmete alınmıştır. Mevcut gelişim aşaması, rezervuarların, elektrik üretimi, taşkın yönetimi, su temini ve çevre koruma gibi çok çeşitli avantajların vizyonu yoluyla insanların yaşam koşullarını iyileştirmede giderek daha hayati bir rol oynadığını göstermiştir. Sonuç olarak, akademisyenler ve mühendisler rezervuar işletimi konusuna büyük ilgi göstermektedir. Rezervuar işletme sorunu, matematiksel olarak çözülmesi gereken, su dengesi denklemleri ve türbin deşarj sınırlamaları gibi çeşitli değişkenler ve fiziksel kısıtlamalar içeren zor bir kısıtlı optimizasyon problemidir. Bu konuyu verimli bir şekilde ele almak için, dünyanın dört bir yanından araştırmacılar, doğrusal programlama (LP), dinamik program (DP), doğrusal olmayan programlama (NLP) ve son zamanlarda büyük meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanmaya başlamışlardır.

Azamathulla ve diğerleri 2008 yılında yaptıkları çalışmada, bilinen toplam sulama talebi için rezervuar işletimi ve çiftlik düzeyinde mahsullere mevcut suyun optimum tahsisi konusunda önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma, Hindistan'ın Madhya Pradesh kentindeki mevcut bir Chiller rezervuar sisteminde gerçek zamanlı rezervuar işletimine uygulanacak Genetik Algoritma (GA) ve Doğrusal Programlama (LP) e olmak üzere iki modelin geliştirilmesi ve karşılaştırılması ile ilgilidir. Performansları analiz edilir ve sonuçlardan GA modelinin LP modelinden daha üstün olduğu bulunmuştur (Azamathulla, ve diğerleri, 2008). Razavi ve diğerleri 2012 yılında yaptıkları çalışmada, su membaları alanında gerçekleştirilen araştırmalara vurgu yaparak, vekil modelleme ve uygulamalara yönelik araştırma çabalarını gözden geçirmekte, analiz etmekte ve kategorize etmektedir. İnceleme, su membalarından kaynaklanan vekil modelleme ile ilgili 48 referansı analiz eder ve ayrıca daha geniş araştırma topluluğundan 100'den fazla referansı tarar. Bu yazıda, yüksek sadakatli model yanıtlarını taklit eden istatistiksel veya ampirik veriye dayalı modeller olan yanıt yüzeyi vekilleri ve orijinal sistemin basitleştirilmiş modelleri olan daha düşük aslına uygun fiziksel tabanlı vekiller olmak üzere iki geniş vekil ailesi detaylandırılmıştır (Razavi, Tolson, & Burn, 2012).

Hossain ve El-Shafie 2013 yılında yaptıkları çalışmada hem tek hem de çoklu rezervuar sistemi için rezervuar operasyon modellemesine uygulanan başta yapay zekalar (AI'lar) olmak üzere çeşitli optimizasyon tekniklerinin bir araştırmasını sunmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, evrimsel algoritmaların (EA'lar) potansiyelini ve en iyi sonuçları sağlayabilecek diğer tekniklerle entegrasyon yeteneğini tartışmaktır. Çalışma, EA kullanıcılarına yeni nesil optimal arama prosedürü hakkında tam bir anlayış sağlar ve dezavantajların üstesinden gelmeye yardımcı olur. Sürü zekalarının uygulama sayısının arka planı, genetik algoritmaya (GA) göre nispeten daha az olsa da, araştırmacıya daha fazla gelişme için büyük bir alan sağlar. Ayrıca, diğer popüler yöntemlerle (doğrusal programlama, stokastik dinamik programlama gibi) karşılaştırmalı sonuçlar, geçmiş araştırma sonuçlarına dayanarak tartışılmaktadır. Araştırmacıların ve rezervuar karar vericilerinin de yardımı için sonuçlar ve düşündürücü açıklamalar yapılmıştır (Hossain & El- Shafie, 2013). Azizipour ve diğerleri 2018 yılında yaptıkları çalışmada, Güvenirliliğe dayalı rezervuar işletme problemlerinin çözümü için yeni bir hibrid genetik algoritma ve hücresel otomata yöntemi sunulmuştur. Yöntem, problemin güvenilirlik kısmının GA ile ele alındığı temel bir yaklaşım iken, operasyonun başarı/başarısızlık dönemlerini belirlemek için problemler yöntemi ile çözülmüştür. Genetik algoritma tarafından önerilen başarı/başarısızlık örüntüsü, daha sonra rezervuar sürümleri arasında işlem sorununun güvenilirlik kısıtlamalarını yeniden yazmak için kullanılmıştır. Önerilen yöntem, İran'daki rezervuar'ın aylık su temini ve hidroelektrik işletimi için kullanılmış ve sonuçları, modelin verimliliğini ve ölçeğinin bağımsızlığını göstermek için, kısa, orta ve uzun vadeli işletme dönemlerinde farklı hedef güvenilirliklerini varsayarak çözdüğümüz sorunları belirlenerek karşılaştırılmıştır. Sonuçların bir GA modeliyle karşılaştırılması, çözümlerin kalitesi ve bu çözümleri elde etmek için gereken hesaplama süreleri açısından önerilen yöntemin doğruluğunu göstermiştir (Azizipour & Afshar, 2018).

Ahmandianfar ve diğerleri 2017 yılında yaptıkları çalışmada, çoklu rezervuar çalışma problemlerini optimize etmek için geliştirilmiş bir DE algoritması sunulmuştur. Bunun için, yerel sömürü yeteneğini teşvik etmek için orijinal DE'de yeni bir mutasyon stratejisi önerilmiştir. Buna ilave olarak vektörlerin çeşitliliğini artırmak ve bunların küresel bir çözüme doğru hareketini iyileştirmek için etkili bir strateji uygulanmıştır. Böylece, orijinal DE'nin keşfi ve kullanımı uygun bir şekilde geliştirilmiştir. İlk olarak, EDE uygulanmış ve iki kıyaslama optimizasyon problemi ile ilgili olarak değerlendirilmiştir.

Sonuçlar, EDE'nin DE ile karşılaştırıldığında çok daha iyi bir performans ile arama duyarlılığı gerçekleştireceğini, bu nedenle karmaşık rezervuar işletme problemlerini çözmek için etkili, hızlı yakınsak ve güçlü bir optimizasyon algoritması olarak önerilebileceğini göstermiştir (Ahmadianfar, Samadi-Koucheksaraee, & Bozorg-Haddad, 2017). Ahmadianfar ve diğerleri 2020 yılında yaptıkları çalışmada yeni popülasyon tabanlı bir algoritma olan GBO önerilmiştir. GBO algoritması, gradyan tabanlı arama yönteminden türetilmiştir ve arama alanında daha iyi bölgeleri keşfetmek için Newton'un yöntemini kullanmıştır. İlk aşamada, GBO mevcut beş optimizasyon algoritması ile karşılaştırıldı, bu da GBO'nun gelişmiş keşif, sömürü, iletişim ve yerel optimumdan etkili bir şekilde kaçınma yetenekleri nedeniyle çok umut verici sonuçlar vermiş olup, ikinci aşama aynı zamanda GBO'nun karmaşık gerçek dünya mühendislik problemlerini çözmedeki üstün performansını da göstermiştir (Ahmadianfar, Bozorg-Haddad, & Chu, 2020). Paliwal ve diğerleri 2021 yılında yaptıkları çalışmada, Rao algoritmaları, literatürdeki diğer algoritmalarla göre performanslarının değerlendirilmesi için ayrık dört rezervuarlı işletim sistemi problemi ve sürekli dört rezervuarlı işletim sistemi problemi (benchmarkproblemler) olmak üzere iki vaka çalışmasına uygulanmıştır. Sonuçlar, Rao-1 algoritmasının, geçmişte aynı kıyaslama problemine uygulanan Rao 2, Rao-3 ve diğer algoritmalarla karşılaştırıldığında, en az fonksiyon değerlendirmeleriyle en uygun çözümü sağladığını göstermiştir. Sonuç olarak, Rao-1 modelinin daha az hesaplama süresi alarak bu yaklaşımlardan daha üstün olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, Rao-1 algoritmasının rezervuar operasyon optimizasyon problemlerine uygulanması için uygun olduğu düşünülebilir (Paliwal, Ghare, Mirajkar, Bokde, & Yaseen, 2021).

Afshar 2013 yılında yaptığı çalışmada, rezervuar işletme problemlerinin optimal çözümü için üç kısıtlı parçacık sürü optimizasyon algoritması ve problemlerin karar değişkenleri olarak alınan depolama/bırakım hacimleri dikkate alınmıştır. Önerilen algoritmalar, çoklu araştırma operasyonunun iki kıyaslama örneğini çözmek için kullanılmış olup, sonuçlar sunulmuştur. Orijinal kısıtsız PSO ve literatürdeki mevcut sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, kısıtlı algoritmaların üstünlüğünü ve özellikle de diğer araştırmacılar tarafından bu problemleri çözmek için kullanılan DDP, GA ve ACOA gibi diğer yöntemlerin kısıtsız PSO'ya ve tamamen kısıtlı versiyonuna olduğunu göstermiştir (Afshar, 2013). Rani ve diğerleri 2020 yılında yaptıkları çalışmada havzalar arası su transferlerini içeren bir sistemin entegre işletiminde, çeşitli rezervuarlar arasında suyun ithalatı/ihracatı da

mevcut suyun sürdürülebilir ve optimum yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Genel olarak, entegre çalışma için bir sistemi simüle etmek için bir deneme yanılma yaklaşımı benimsenir. Rezervuarlar arasındaki su yeniden yerleşimleri hakkında önceden bilgi, bu sistemlerin entegre yönetimini kolaylaştırmak için yardımcı olacaktır. Bu çalışmada, Alqueva alt sistemindeki rezervuarlar arasındaki su transferlerini değerlendirmek için geliştirilmiş envanter tabanlı dinamik programlama modeli geliştirilmiştir. Model, rezervuarlar arasındaki su transferleri hakkında yönergeler sunar ve Alqueva alt sistemindeki eksiklikleri sübvans etmek için Alqueva rezervuarından pompalanacak toplam su miktarını tahmin etmektedir. Önerilen metodoloji, entegre operasyonları teşvik etmek için diğer karmaşık sistemlere uyarlanabilir ve model, tasarım ve operasyonel hedefler için yararlı olabilir (Rani, Mourato, & Moreira, 2020).

Singh ve Singal 2017 yılında yaptıkları çalışmada, rezervuar bazlı ve nehir hidroelektrik santrallerinin işletilmesi alanında yürütülen daha önceki araştırma çalışmalarını gözden geçirmek için yapılmıştır. Hidroelektrik santralinin çalışmasını etkileyen parametrelerin yük, deşarj, türbin ve jeneratör olduğu tespit edilmiştir. Daha önceki çalışmalar, çeşitli optimizasyon teknikleri kullanarak ve aynı zamanda çevre üzerindeki etkiyi göz önünde bulundurarak enerji elde edilmesi için hidroelektrik sisteminin işletilmesine odaklanmıştır. Bu çalışmada, hidroelektrik üretiminin işletilmesi için geliştirilen çeşitli matematiksel modellerin konsolide incelemesi sunulmuştur (Singh & Singal, 2017). Li ve diğerleri 2018 yılında yaptıkları çalışmada Hidroelektrik santral türbinlerinin çalıştırılmasının baraj gövdesi üzerindeki etkilerinin anlaşılması, toprak dolgu barajlar için en önemli güvenlik endişelerinden biridir. Bu araştırmada, altı dikey kaplan türbini (yani Haditha barajı) içeren bir hidroelektrik santral sistemi ile entegre edilmiş toprak dolgu barajının dinamik analizi incelenmiştir (Li, Ameen, Mohammad, Al-Ansari, & Yaseen, 2018). Jiang ve diğerleri 2018 yılında yaptıkları çalışmada, enerji depolama operasyon şemasının optimizasyonunda geleneksel iki aşamalı Optimallik Algoritmasının (POA) kusurlarını hedefleyen bu makale, yeni bir çok aşamalı POA optimizasyon modeli önermiştir. İlk çözüm olarak geleneksel ters hesaplama sonucunu aldı ve geleneksel POA'nın iki aşamalı optimizasyon modunu üç aşamalı moda, dört aşamalı moda veya daha yüksek aşama moduna genişletti ve sonuç yakınsayana kadar daha düşük aşama POA'nın sonucunu daha yüksek aşama POA'nın girdisi olarak alarak yinelemeli hesaplamayı uyguladı. Buna ek olarak, yerel aramanın verimliliğini artırmak

için yerel optimizasyondaki tüm olası kombinasyonları yinelemek için numaralandırma yöntemi kullanılmıştır. Önerilen modelin rasyonelliğini ve geçerliliğini test etmek ve doğrulamak için, geleneksel iki aşamalı POA ile karşılaştırıldığında, vaka çalışması örnekleri olarak iki kademeli rezervuar alınmış olup, sonuçlar, önerilen çok aşamalı POA tarafından Li Xianjiang ve Three Gorges kaskad rezervuarlarının güç üretiminin sırasıyla% 0.055 (32000 \$) ve% 0.077 (3900000 \$) artabileceğini göstermiştir. Dolayısıyla ekonomik faydalar dikkat çekicidir ve önerilen model makul ve etkilidir (Jiang, Ji, Qin, & Feng, 2018).

Yaseen ve diğerleri 2019 yılında yaptıkları çalışmada, çok hedefli bir rezervuar su sisteminin işleyişini optimize etmek için iki meta-sezgisel algoritmanın entegre edilmesine dayalı yeni bir hibrit zeka modelinin uygulanmasına adanmıştır. Optimizasyon problemi, Hindistan'daki bir vaka çalışması için sulama taleplerini ve hidroelektrik üretimini karşılamak için çözülmüştür. BA'nın kapasitesi, yerel ve küresel arama stratejilerine dayalı PSO algoritması ile hibridizasyon ve her algoritmadaki daha zayıf çözümlerin diğer algoritmaların en iyi çözümleriyle ikame edilmesiyle iyileştirilmiştir. Önerilen NHA prosedürünün arkasındaki ana fikir, BA'yı kullanarak olası en kötü çözümlerden ve bunun sonucunda yerel optimumda ortaya çıkan düşüşten kaçınmaktır. Akıllı bir model olarak önerilen NHA'nın, dünya çapındaki benzer rezervuar sistemleri için çalışma kuralını optimize etmek için karmaşık çok hedefli rezervuar sistemleri için güvenilir çözümler sağlamaya katkıda bulunabileceği sonucuna varılabilir. Ek olarak, NHA, gelecek dönemlerde farklı iklim değişikliği senaryoları altında çalışmasını optimize etmek için ek rezervuar hidrolojik değişkenleri için diğer tahmin modelleriyle entegre edilebilir. Ayrıca NHA, çok hedefli rezervuar sistemleri ve diğer çok hedefli mühendislik optimizasyon uygulamaları için kullanılabilir (Yaseen, ve diğerleri, 2019). Ahmadianfar ve diğerleri 2019 yılında yaptıkları çalışmada, rezervuar operasyon politikalarını en iyi şekilde türetmek için diferansiyel evrim ve parçacık sürü optimizasyonunun çoklu strateji (MS-DEPSO) ile yeniden verimli bir hibriti önerilmiştir. Önerilen algoritma, DE ve PSO algoritmalarının performansını iyileştirmek ve yerel ve küresel arama yeteneklerini geliştirmek için çeşitli stratejiler getirmiştir. Gelecekteki bir çalışma olarak, MS-DEPSO çok hedefli optimizasyon mühendisliği problemlerini çözmek için kullanılabilir. Özellikle, küresel optimal çözümü bulmanın zorlu bir görev

olduğu bazı mühendislik tasarım problemlerini optimize etmek için uygulanabilir (Ahmadianfar, Khajeh, Asghari-Pari, & Chu, 2019).

Feng ve diğerleri 2019 yılında yaptıkları çalışmada, karmaşık kısıtlı optimizasyon problemini etkili bir şekilde ele almak için geliştirilmiş bir gri kurt optimize edici (IGWO) geliştirmektedir. Önerilen yöntemde, sürünün yakınsama oranını artırmak için yarı karşıt öğrenme kullanılır; Elit mutasyon operatörü, yerel optimumdan kaçma olasılığını artırmak için kullanılır; Elastik top stratejisi ve sezgisel kısıtlama işleme yöntemi, uygun olmayan bireylerin uygulanabilir alana geri dönmesine yardımcı olmak için kullanılır. 12 klasik test fonksiyonunun sayısal deneyleri, IGWO yönteminin global optimizasyon problemlerinde uygulanabilirliğini göstermektedir. Daha sonra, geliştirilen yöntem, ardışık olarak iki hidroelektrik sisteminin optimum çalışmasını çözmek için uygulanır. Sonuçlar, önerilen yöntemin, güç sisteminin tepe yüklerini yumuşatmada birkaç geleneksel yöntemden daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Özetlemek gerekirse, hidroelektrik sistem işletme optimizasyonu problemi için etkili bir çözüm aracı sağlanmıştır (Feng, ve diğerleri, 2019). Feng ve diğerleri 2020 yılında yaptıkları çalışmada, sayısal optimizasyon ve çoklu hidroelektrik rezervuarları operasyon optimizasyonu problemini ele almak için adaptif sinüs algoritması (ASCA) adı verilen pratik popülasyon tabanlı bir yöntem geliştirilmiştir. ASCA'da, elit mutasyon stratejisi, simpleks dinamik arama stratejisi ve yeni bir boşluk arama stratejisi dahil olmak üzere ekosin algoritmasında (SCA) performans standartlarını iyileştirmek için üç değiştirilmiş strateji kullanılmıştır. En ünlü 25 fonksiyonun sonuçları, sunulan yöntemin standart SCA yönteminden ve mevcut birkaç evrimsel yöntemden daha iyi performans göstermiştir (Feng, ve diğerleri, 2020). Ahmadianfar ve diğerleri 2021 yılında yaptıkları çalışmada, rezervuar sistemi işletiminin optimize edilmesi (ORSO), çok sayıda kısıtlama ve karar değişkeni ile doğrusal olmayan, büyük ölçekli ve dışbükey olmayan bir problemdir. ORSO problemini etkili bir şekilde çözmek için, bu çalışmada, küresel keşif ve yerel sömürü yeteneğini dengelemek ve doğru ve güvenilir çözümler elde etmek için çeşitli stratejiler tanıtılarak sağlam bir çeşitliliğe dayalı, sinüs-kosinüs algoritması (RDB SCA) geliştirilmiştir. Enerji elde edilmesini en üst düzeye çıkarmak için RDB-SCA ile verimli bir doğrusal çalışma kuralı birleştirilmiştir. Önerilen yöntem daha sonra optimum operasyonel politikaları çıkarmak ve sonuç olarak enerji elde edilmesini en üst düzeye çıkarmak için gerçek dünya, çok rezervuarlı bir sisteme uygulanır. RDB-SCA'nın,

özellikle 2, 3 ve 4 rezervuarlı sistemler için orijinal SCA'dan %24, 14 ve 6 daha fazla enerji elde edilebildiği gösterilmiştir. Mevcut bulgular, hidroelektrik çoklu rezervuar sistemlerinin verimli çalışması için kılavuz çizgiler önermek için yararlıdır (Ahmadianfar, Noshadian, Elagip, & Salarijazi, 2021).

Rashid ve diğerleri 2021 yılında yaptıkları çalışmada, kademeli rezervuarlar aracılığıyla hidroelektrik ve ilişkili faydaları en üst düzeye çıkarmak için kural eğrilerinin genetik algoritma tabanlı optimizasyonuna odaklanmıştır. Pakistan'daki İndus Nehri üzerindeki çok hedefli Diamer Basha ve Terbela Rezervuarlarından hidroelektrik, sulama ve tortu tahliyesini en üst düzeye çıkarmak için RESOOSE modeli kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, hidroelektriğin ilgili faydaların en üst düzeye çıkarılmasıyla birlikte optimize edildiğini göstermektedir. Çalışmada geliştirilen kademeli rezervuarların optimize edilmiş kural eğrileri, sıfır açıklık, uygun fiyatlı temiz enerji, ekonomik büyüme ve su mevcudiyeti gibi SKH'lere ulaşmak için genel faydaları artırmıştır (Rashid, Abid, & Latif, 2022). Ahmadianfar ve diğerleri 2021 yılında yaptıkları çalışmada, çeşitli optimizasyon problemlerini çözmek için yeni bir optimizasyon algoritması olan RUN geliştirilmiştir. IEEE CEC2017 test fonksiyonları kullanılarak RUN algoritmasının etkinliği değerlendirilmiş ve sekiz gelişmiş algoritma ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, RUN'ın üstün yerel arama elde ederken küresel aramanın verimliliğini garanti edebileceğini ve böylece yerel ve küresel arama yetenekleri arasında mükemmel bir dengeyi koruyabildiğini göstermektedir, bu da önerilen optimize edicinin gelişmiş optimize edicilere kıyasla üstün verimliliğini gösterir. Ayrıca, RUN, dört mühendislik tasarım problemini çözmede mevcut diğer optimize edicilerle karşılaştırılmıştır ve RUN'ın bu karmaşık gerçek dünya problemlerini optimize etmede diğer optimizasyon algoritmalarından daha iyi bir performans sunduğunu göstermiştir (Ahmadianfar, Heidari, Gandomi, Chu, & Chen, 2021).

Fang ve diğerleri 2021 yılında yaptıkları çalışmada, Çoklu rezervuar sistemlerinin optimizasyonu sürecinde, optimum salınan suya ulaşmak önemli bir adımdır. Bu nedenle, bu araştırmada, hidroelektrik çoklu rezervuar sistemi için en uygun çözüme ulaşmak için hızlandırılmış gradyan tabanlı optimizasyon (AGBO) algoritması uygun şekilde geliştirilmiştir. Önerilen yöntem, ayarları etkili bir şekilde güncellemek için uyarlanabilir bir strateji kullanır. İstatistiksel sonuçlar, AGBO'nun A-DEPSO, HSLSO, MS-DEPSO,

IDE, LSHADE ve EGBO algoritmaları ile karşılaştırıldığında daha umut verici sonuçlar sağlayabileceğini göstermektedir. Tavsiye edilen yöntem, hidroelektrik sistemindeki yük taleplerini en üst düzeye çıkarmak için diğer gelişmiş optimizasyon algoritmalarına kıyasla en üstün olanıdır. Sonuç olarak, bu, karmaşık hidroelektrik çoklu rezervuar optimizasyon sistemlerini çözmek için verimli bir araç sunar (Fang, ve diğerleri, 2021). Chong ve diğerleri 2021 yılında yaptıkları çalışmada, doğadan ilham alan meta-sezgisel algoritmalara (MHA'lar) dayanan yeni optimizasyon yöntemler, son yirmi yılda, MHA'ları kullanan hidrologları en uygun baraj ve rezervuar işletme kurallarını belirlemek için daha iyi alternatif optimizasyon araçları olarak araştırmaya motive etmiştir. Baraj ve rezervuar optimizasyon uygulamalarını daha iyi çözmek için bu çalışma, MHA'ları kullanarak geçmiş, şimdiki ve ileriye dönük araştırma yönlerini sunmaktadır. Baraj ve rezervuar optimizasyonu problemi, sadece problem formülasyonunu ve ayrıştırmayı değil, aynı zamanda MHA'ların hesaplama verimliliğini de arttırmaya yönelik temel bir odak kaymasını gerektirir (Chong, ve diğerleri, 2021). Abdollahi ve Ahmadianfar 2021 yılında yaptıkları çalışmada, rezervuar sistemlerinin optimal yönetimindeki çeşitli problemlerin üstesinden gelmek için çok mekanizmalı topluluk iç arama algoritması (MEISA) adı verilen etkili bir optimizasyon yöntemi geliştirmeyi hedeflemiştir. MEISA, küresel ve yerel arama yeteneğini geliştirmek için iç arama algoritmasının (ISA) iki ana operatörünü (yani kompozisyon ve ayna operatörleri) teşvik eder. Ayrıca, önerilen algoritma, en iyi çözümü geliştirmek ve yakınsama hızını artırmak için gelişmiş bir muhalefet tabanlı öğrenme (EOBL) operatörü kullanır. MEISA ayrıca önerilen algorithmada küresel ve yerel aramayı dengelemek için uyarlanabilir bir parametre kullanır. Çeşitli test fonksiyonlarının sonuçları, MEISA'nın çözüm doğruluğu, kalitesi ve yakınsama oranı açısından diğer optimize edicilerden daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir (Abdollahi & Ahmadianfar, 2021).

Li ve diğerleri 2022 yılında yaptıkları çalışmada, spot piyasayı göz önünde bulundurarak bir kaskad-rezervuar sistemi için işletme kuralı eğrileri elde etmiştir. Ortalama yıllık gelir ve güvenilirliğin en üst düzeye çıkarılmasının yanı sıra dökülen suyun en aza indirilmesi hedefleri olan bir parametre-simülasyon optimizasyon modeli oluşturulmuştur. NSGA-II, bu çok hedefli sorunu çözmek için kullanıldı ve önerilen yaklaşım, Çin'in Hubei eyaletindeki Qing Nehri kaskad-rezervuar sistemine uygulanmıştır. Çin'de devam eden elektrik reformu ile bu çalışma, kısa vadeli kendi kendine zamanlama için bir sınır

sağlamak üzere uzun vadeli çalışma kuralları programı için bir yöntem sağlayabilir. Bununla birlikte, uzun vadeli su membarları planlamasının kısa vadeli planlamaya dahil edilmesinde daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. Ayrıca, vadeli ve spot piyasalar arasındaki etkileşimin de dikkate alınması gerekir (Li, ve diğerleri, 2022). Tehrani ve diğerleri 2021 yılında yaptıkları çalışmada, bu araştırma alanındaki çok sayıda mevcut makale arasından seçilen, hayvanlardan ilham alan EA'ların rezervuar operasyon optimizasyonuna uygulamalarının bir incelemesini bildirmektedir. Buradaki hayvanlardan ilham alan EA'lar, hayvan (yabani) türlerinin biyolojik özelliklerini taklit eden endişe algoritmalarını tanımlamıştır. Bu çalışma, belirtilen EA'ların her birinin algoritmik özelliklerinin ve kullanılan çeşitli geliştirilmiş versiyonlarının veya çeşitlerinin kısa bir açıklamasını sunmaktadır. Ayrıca, önerilen hayvanlardan ilham alan EA'lar ile bunların geliştirilmiş versiyonları arasındaki farklar, gözden geçirilen literatürde uygulanan hayvandan ilham alan EA'ların performansları karşılaştırılarak tanımlanmıştır. PSO ve çeşitleri en fazla sayıda rapor edilen uygulamaya sahiptir. Karşılaştırma sonuçlarımız, hayvanlardan ilham alan EA'ların kısıtlı, ayırık ve randomize çeşitlerinin, daha büyük uygulanabilir arama alanı, daha iyi çözüm kalitesi ve daha kısa hesaplama süresi nedeniyle sırasıyla kısıtlanmamış, sürekli ve deterministik çeşitlerden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, hayvanlardan ilham alan tüm EA'lar, doğrusal olmayan programlama (NLP) ve dinamik programlama (DP) gibi geleneksel rezervuar optimizasyonu yöntemlerinden daha iyi performans göstermiştir (Jahandideh-Tehrani, Bozorg-Haddad, & Loáiciga, 2021).

Ashrafi 2021 yılında yaptığı çalışmada, Riskten korunma politikası, uzun süreli kuraklıklardan kaynaklanan hasarı azaltmak için depolama rezervuarlarına sahip su membarları sistemleri için uygulanabilir bir stratejidir. Paralel ve kademeli çok rezervuarlı sistemlerin çalışmasını optimize etmek, birçok karmaşıklığı nedeniyle zorlu bir görevdir. Bu çalışma, çok rezervuarlı sistemler için hem işletme kuralı eğrilerine hem de rasyon katsayılarına ulaşmak için iki aşamalı bir yaklaşım önermektedir. İlk aşamada, karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama (MINLP) ile parçacık sürü optimizasyon algoritması birleştirilerek ana problemin ilk çözümlerine ulaşılır. Elde edilen çözümler daha sonra ikinci aşamada, sistem özelliklerini verimli bir şekilde modelleyen dağıtılmış bir simülasyon-optimizasyon modeli uygulanarak ayarlanır. Önerilen yaklaşım, güneybatı İran'daki Büyük Karun çoklu rezervuar sisteminin rezervuarları için optimal

kural eğrileri ve rasyon katsayıları elde etmek için uygulanmıştır. Önerilen model, çok rezervuarlı sistem işletiminde diğer ikisinden (yani dağıtılmış simülasyon-optimizasyon modeli ve toplu MINLP modeli) daha iyi performans göstermiş ve makul bir süre içinde optimum riskten korunma işletme politikasını elde edebilmiştir. Bu model ile çeşitli sistem talepleri için tedarik önceliklendirilebilir. Ayrıca, önerilen modelden korunma işletme politikası, kuraklık dönemlerinde başarısızlıkların büyüklüğünü önemli ölçüde azaltmıştır (Mohammad Ashrafi, 2021).



$R_{i,t}$: t-zamanda i-barajında dolu savaktan tahliye edilen debi miktarı

$B_{i,t}$: t-zamanında i-barajında oluşan buharlaşma kaybı

olarak tanımlanmıştır. Sistemin herhangi bir i-barajı için t-anındaki su dengesi ilişkisinde, (i=1,2...M: baraj adedi, t=1,2...KM: Dönem sayısı),

Çok yönlü biriktirme tesislerine sahip olan bir su membaları sisteminde, her bir tesis için biriktirilen su ölçüsü, tesisin azami ve asgari kapasiteleriyle belirlenmektedir. Bu bağlamda, her bir tesiste biriktirilen su miktarı denklem 3.2'de gösterildiği gibi;

$$S_i^{Min} \leq S_{i,t} \leq S_i^{Maks} \quad (3.2)$$

arasındadır ve,

S_i^{Min} : i-tesisinde biriktirilen asgari su miktarını

S_i^{Maks} : i- tesisinde biriktirilen azami su miktarını

belirtmektedir. Tesis tarafından tahliye edilecek akımlar, enerji elde etme sığasına ve dolu savak sığasına bağlı olarak sınırlandırılabilir. Dolayısıyla, tesis tarafından tahliye edilen akımlar denklem 3.3 ve 3.4' de gösterildiği gibi;

$$0 \leq Q_{i,t} \leq Q_i^{Maks} \quad (3.3)$$

$$0 \leq R_{i,t} \leq R_i^{Maks} \quad (3.4)$$

olmaktadır. Burada,

Q_i^{Maks} : i- tesisten enerji elde edilmesi için bırakılabilecek azami su ölçüsünü

R_i^{Maks} : i- tesiste dolu savaktan bırakılabilecek azami su ölçüsünü

belirtmektedir.

Öte yandan, tesislerden serbest bırakılan akımların toplamı için denklem 3.5'de belirtildiği gibi alt ve üst sınırlar belirlenebilir.

$$W_{i,t} \leq (R_{i,t} + Q_{i,t}) \leq W_i^{Maks} \quad (3.5)$$

Arasındadır, bu durumda,

$W_{i,t}$: t-zamanında i-tesisinde akarsu kanalına salınması gereken asgari su ölçüsü (sulama suyu, kirlilik kontrolünün sağlanması, ulaşım gibi hedefler gözetilerek),

W_i^{Maks} :i- tesisinde akarsu kanalına bırakılabilecek azami su ölçüsü (taşkın yönetimi için güvenli akım),

olarak tanımlanabilir.

Her işletmede enerji elde edilmesi amacıyla salınan akımdan elde edilen gücün, hidroelektrik santralının azami kapasitesini aşmaması gerekir. Yani, t-zamanında i- tesisinde üretilen ortalama güç denklem 3.6 ve 3.7' de belirtildiği gibi;

$$P_{i,t} = h_{i,t} \cdot k_i \cdot Q_{i,t} \quad (3.6)$$

olup;

$$P_{i,t} \leq P_{k_i} \quad (3.7)$$

olmalıdır. Burada, P_{k_i} , i- tesisi için kurulu güç, k_i enerji elde etme katsayısı ve $h_{i,t}$ i- tesisinde t-zamandaki ortalama net düşüyü temsil eder.

Tesislerdeki ortalama su yüksekliği denklem 3.8'de belirtildiği gibi;

$$h_{i,t}^* = h \left(\frac{S_{i,t} + S_{i,t+1}}{2} \right) \quad (3.8)$$

şeklinde (ortalama depolanan su miktarının bir fonksiyonu olarak) belirlenmektedir. Cebri boru veya iletim tünelineki sürtünme kayıpları hesaba katıldığında denklem 3.9'da belirtildiği gibi;

$$h_{i,t} = h_{i,t}^* - (h_f)_{i,t} \quad (3.9)$$

yazılabilir ve denklem 3.10'da belirtildiği gibi;

$$h_{i,t} = h_{i,t}^* - dk_i \cdot Q_{i,t}^2 \cdot l_i \quad (3.10)$$

yazılmaktadır. Burada,

$h_{i,t}^*$: Tüneldeki sürtünme kaynaklı kayıplar dikkate alınmadan önce i- tesisinde t-zamandaki ortalama su yüksekliği

$(h_f)_{i,t}$: i- tesisinde t-zamandaki sürtünme kaynaklı yük kaybı

dk_i : i- tesisinde tünel çapı ve sürtünmeye bağlı bir katsayı

l_i : i- tesisindeki taşıma tünelinin uzunluğu

olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda, tesis içindeki $h_{i,t}$ yüksekliğine denk gelen depolama alanı belirlenir ve bu değer, t-zamandaki buharlaşma seviyesiyle çarpılarak buharlaşma miktarı belirlenir (Opan , 2007).

3.2. Uzun Süreli Planlama

Uzun vadeli planlamada, çeşitli hedefleri olan biriktirme tesislerine ait su membarları sistemlerinde zaman dilimi olarak ay tercih edilmektedir. Bu planlamada genel olarak, enerji, sulama ve su temini faydalarını maksimize etmek hedeflenmektedir. Bu çalışmada, optimizasyon tekniği olarak ardışık yaklaşımlı dinamik programlama kullanılmakta ve çözüm iki aşamalı olarak ele alınmaktadır. İlk aşamada, aylık kurak dönemlerdeki akımlar kullanılarak güvenilir gücü maksimize edecek şekilde aylık asgari işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Min}$) belirlenebilir. Bu güvenilir güç, modelde bir sınırlama olarak kullanılmakta ve aylık ortalama akımlarla toplam enerjiyi maksimize ederek aylık normal işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Nor}$) bulunmaktadır. Bu hedefle, Opan tarafından geliştirilen optimizasyon modelinde, hedef fonksiyonu iki kriterli olarak tanımlanmaktadır (Opan , 2007).

1. Kıt su dönemi aylık akımlarıyla güvenilir gücün/enerjinin en üst düzeye çıkarılması denklem 3.11'de belirtildiği gibi yazılabilir.

$$Max.(\min. \sum_{i=1}^M P_{i,t}) \quad (3.11)$$

Burada, $t=1,2,3 \dots KM$, KM : Kıt su dönemi ay adedini ifade eder.

2. Aylık ortalama debiler ile toplam enerjinin maksimize edilmesi denklem 3.12 ve 3.13'de belirtildiği gibi, (P_G =sabit);

$$Max. \sum_{t=1}^{KM} \left[\left(\sum_{i=1}^M P_{i,t} - P_G \right) \cdot p_s + P_G \cdot p_G \right], (KM=12 \text{ ay}) \quad (3.12)$$

($Max. \sum_{t=1}^{KM} \sum_{i=1}^M P_{i,t}$ ile eşdeğer);

$$\sum_{i=1}^M P_{i,t} \geq P_G \quad (3.13)$$

şeklindedir. Burada,

P_G : En üst düzeyde güvenilir gücü,

p_G : Güvenilir enerji birim fiyatını,

p_s : Sekonder enerji birim fiyatını,

ifade eder. Güvenilir güç (P_G), kurak dönem aylık akımları kullanılarak belirlenir ve hem sekonder enerjinin hem de toplam enerjinin aylık ortalama akımlara göre maksimize edilmesi sağlanır. Burada kullanılan enerji birim fiyatlarının sonuçlar üzerinde doğrudan bir etkisi olmamakla birlikte, sadece toplam enerji faydasının değerini belirlemek için kullanılır (Opan , 2007).

Yapısal denklemler olarak, Denklem 3.1'de her bir biriktirme tesisinin ve dönemin su dengesi ilişkisi gösterilmiştir. Sistemdeki kısıtlar ise, her bir biriktirme tesisindeki işletme

seviyesinin değişimi Denklem 3.2 ile ifade edilmiştir. Biriktirme tesisinden salınacak debi ölçüşü, enerji elde edilmesi ve dolu savaktan salınan debiler ise sırasıyla Denklem 3.3 ve 3.4'te gösterilmiştir.

3.3. Veri Tahmini

Veri tahmini için yapay zeka uygulamalarından yapay sinir ağı modeli (YSA) kullanılabilir. YSA modeli, insan-beyin süreçlerini simüle eden hesaplamaları ve matematiği içermektedir. Son zamanlarda elde edilen ilerlemelerin çoğu, görüntü ve ses tanıma, robotik ve YSA kullanımı gibi yapay zeka araştırma alanıyla ilgilidir. YSA modelleri biyolojik sinir sisteminden ilham alan özel mimari bir formata sahiptir. İnsan beyninin yapısı gibi YSA modelleri de karmaşık ve doğrusal olmayan formdaki nöronlardan oluşur. Nöronlar birbirlerine ağırlıklı bağlantılar ile bağlanır. YSA modellerindeki veri toplama ve analizi, ağ yapısı tasarımı, gizli katman sayısı, ağ simülasyonu ve ağırlık/önyargı değişimi gibi tüm süreçler, öğrenme ve eğitim yöntemleriyle hesaplanır. Gerçek dünyanın sorunlarını çözen YSA uygulamaları, finanstan hidrolojiye kadar çok çeşitli bilimsel alanları içerir ve üç kategoriye ayrılır: (i) model sınıflandırma, (ii) tahmin ve (iii) kontrol ve optimizasyon. YSA modellerinde kümeleme, sınıflandırma ve simülasyon, YSA modellerine ilişkin farklı türde yapılar ile gerçekleştirilmektedir. YSA modelleri üç gruba ayrılır: (i) statik YSA, (ii) dinamik YSA ve (iii) istatistiksel YSA. Statik YSA modeli, çok katmanlı bir algılayıcı sinir ağı modeli, bantlı gecikme hatları ve tekrarlayan sinir ağı modelleri gibi dinamik sinir ağı modelleri ve radyal tabanlı fonksiyon modeli ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağı modeli gibi istatistiksel sinir ağı modelleri olarak bilinir . Daha iyi tahmin hedefleri için YSA modelini diğer optimizasyon teknikleriyle (örneğin uyarlanabilir nöro-bulanık çıkartım sistemi) birleştirmek de mümkün olabilir. YSA'nın en önemli etkilerinden biri hidrolojik sistemlerdir.

Yapay zeka (AI) teknikleri, farklı araştırma alanlarındaki karmaşık sorunlara çözüm sağlayan bilgi odaklı ve veri odaklı hesaplama yöntem ve araçlarını içerir (Agatonovic-Kustrin & Beresford, 2000). Yapay zeka teknikleri iki kategoriye ayrılır: (i) bilgi odaklı ve (ii) veri odaklı. Yapay zeka tekniklerinin ilk türü, insan deneyimini simüle eden ve bir uzmanın sorunu çözmesine ve düşünme süreçleri aracılığıyla bir dizi kuraldan sonuç çıkarmasına olanak tanıyan bilgiye dayalı uzman sistemlerdir (Sukor, ve diğerleri, 2019).

Bu yöntem belirsizlik ve belirsizlik içeren ortamlarda karar vermede faydalıdır. İkinci grup yapay zeka teknikleri , yapay sinir ağları (YSA), destek vektör makineleri vb. gibi veriye dayalı matematiksel araçları içerir. YSA modelleme, özellikle bilgisayarda bir sistem değişkeninin tahmin edilmesi için literatürde yaygın olarak kullanılan bir yapay zeka tekniği biçimidir. YSA modellemenin amacı, insan beyninin basitleştirilmiş bir modelini geliştirmek ve diğerlerinin yanı sıra elektrik mühendisliği, ziraat mühendisliği, proses ve gıda mühendisliği gibi çeşitli alanların sorunlarını çözmek için öğrenme görevlerinde veya süreçlerinde beyin davranışını taklit etmektir (Li & Chao, 2020). Beyinde bilgiyi aktaran hücre gruplarına nöronlar denir ve her bir nöron, nöronlar arasında bağlantı kurmak için veri ve bilgi içeren sinyaller gönderir (Agatonovic-Kustrin & Beresford, 2000). YSA modelleme temel olarak modeli tanımlayarak bilgi toplamaktır (Araghinejad, 2013).

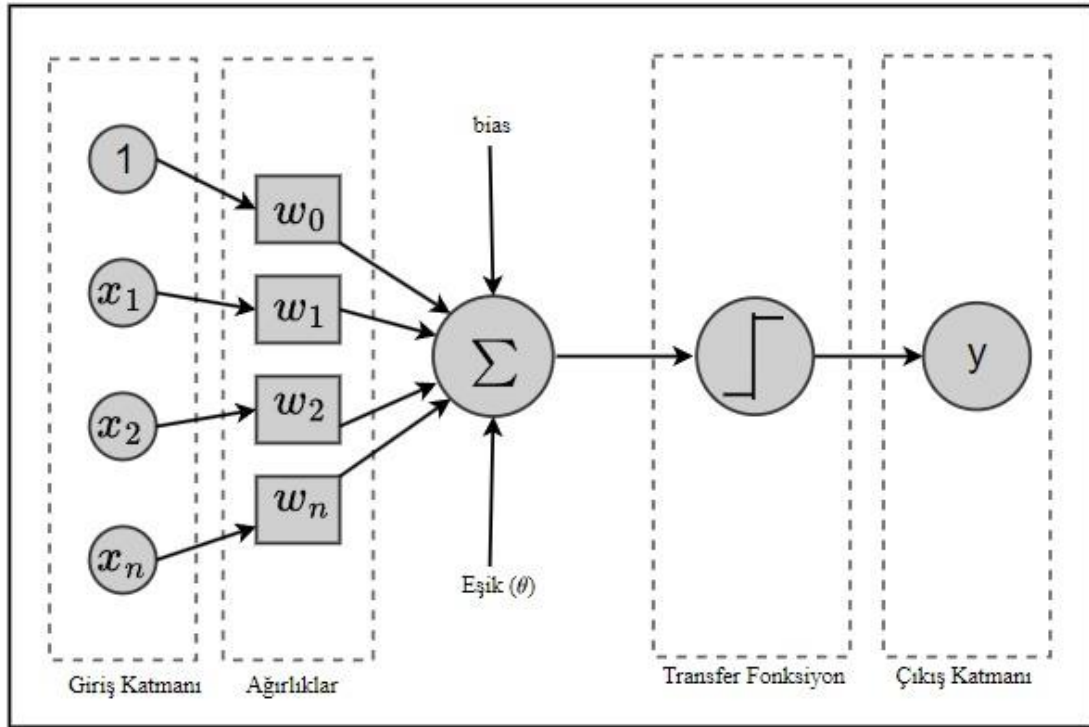
YSA modelleri, orijinal bilgi karmaşık olsa ve bazı hatalar içerse bile değişkenler arasındaki temel davranış tanıyabilmektedir. Bu özellik, anlaşılması zor olan karmaşık problemlerin çözümünde YSA modellemenin uygulanmasını kolaylaştırır, ancak YSA modelinin eğitimi için veriler hazır durumda kalır. Böylece, YSA modelleri, özellikle veriler arasındaki dahili fiziksel veya süreç bazlı ilişkilerin karmaşık olduğu veya karmaşık olmadığı veriye bağlı problemlerde, herhangi bir fonksiyonu tam doğrulukla ve sürekli olarak tahmin etmek için bir eğitim süreci ile girdi ve çıktı verileri arasında ampirik bir ilişki oluşturur (Nguyen, Bui, Bui, & Mai, 2020).

Kendini uyarlamalı ve doğrusal olmayan yaklaşımlar, YSA'yı modelleme, sınıflandırma, gürültü azaltma, örüntü tanıma, yaklaşım ve verilerdeki karmaşık ilişkilere yönelik tahmin için güçlü bir araç haline getirir (Govindaraju & Rao, 2013). YSA modellemesi, insan beyninin bilgiyi geliştirme şeklini modelleyen sistemleri içerir. Sinir ağlarında veri toplama ve bilgi işleme, kümeleme, sınıflandırma ve simülasyon için veri setindeki kalıpların ve ilişkilerin tanımlanmasıyla gerçekleştirilir (Araghinejad, 2013). YSA modelleri, verilerdeki bir modeli fark ettikten sonra çözümleri zaman içinde uyarlama ve bilgileri hızlı bir şekilde işleme yeteneğine sahip olur. YSA modelleri, giriş verisinden öğrenmede özyinelemeli bir yapıya sahip olup, oldukça esnek bir matematiksel yapıya sahip olduğundan, özellikle fiziksel gibi geleneksel yöntemlerle kolayca

modellenemeyen karmaşık, doğrusal olmayan süreçler için zaman kazandıran modellerdir (Malekian & Chitsaz, 2021).

Yukarıda belirtilen ifadelerle dayanarak, YSA modelleri, karmaşık görevlerde bile örüntü tanımada dikkate değer bir başarı ile etkili ve çekici olması nedeniyle farklı araştırma alanlarında giderek daha fazla kullanılmaktadır (Yang, 2009). YSA'nın en önemli uygulamalarından biri hidroloji, klimatoloji ve su membarları yönetimi araştırmalarıdır. Su membarları sistemleri, operasyonlarını optimize etmek için akış tahminine ihtiyaç duyarken, akış akışındaki mekansal-zamansal değişkenlik, bunu bu açıdan kritik bir sorun haline getirmektedir (Darlane & Azimi, 2018). YSA modellerinin akarsu akışı tahmininde güvenilirliği, kavramsal ve fiziksel tabanlı modellere göre üstünlükleri nedeniyle birçok hidrolog tarafından kanıtlanmıştır (Kişi, 2006).

Bir YSA'nın yapısı nöronları, giriş katmanını, çıkış katmanını, gizli katmanları, ağırlıkları, aktivasyon fonksiyonlarını ve sapmaları içerir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Yapay sinir ağının yapısı (Malekian & Chitsaz, 2021)

3.3.1. Nöronlar ve Bağlantı Formülü

Yapay bir nöron, biyolojik nöronların davranışlarını simüle etmek için YSA modelinin ana parçasıdır. Her nöron, uygun çıktıyı (Y) tahmin etmek için girdileri (X) birleştirme ve girdileri eşik (θ) ile karşılaştırma rolüne sahip bir birimdir (Araghinejad, 2013). Ağırlık (W), bir ağırlık matrisi yoluyla her girdinin önemini kontrol etmek için kullanılır ve ağırlıklar, her girdi verisinin etkinliğini gösterir.

Giriş ağırlığının en yüksek değeri sinir ağı üzerindeki en yüksek etkiyi gösterir. Doğrusal fonksiyonun kesişimi, nöronlara yapılan ağırlıklı girdilerin toplamı ile birlikte çıktıları ayarlamak için fonksiyona eklenen sapma (b) olarak gösterilir. Bu nedenle sapma, verilen giriş verileri için YSA modelinin en uygun uyumu olarak kullanılır.

Giriş ve çıkış verilerini içeren farklı bileşenler arasındaki matematiksel ilişkiyi gösteren bir YSA modeli denklem 3.14 ile ifade edilir (Govindaraju & Rao, 2013);

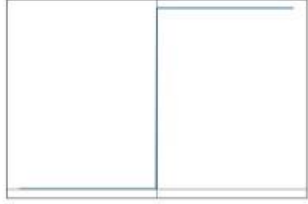
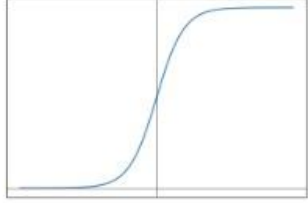
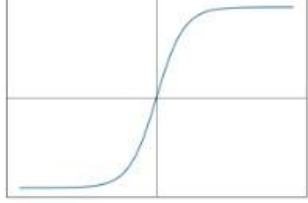
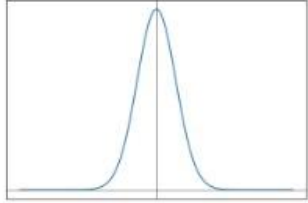
$$Y = b + \sum_{n=1}^m W_n X_n \quad (3.14)$$

burada X , giriş; W , ağırlık; b , sapma; m , her bir nöron için giriş sayısı ve Y , çıkış. Transfer fonksiyonları farklı matematiksel ifadelerle temsil edilebilir.

3.3.2. Aktarım İşlevi

YSA'nın çalışması, nöronların birbirine bağlanma şeklerinden etkilenir. Yapay nöronlardaki girdiler, uyarıcı veya engelleyici girdiler olarak ikiye ayrılır; bu, bir nöronun, önceki nörona bağlı diğer nöronları ne kadar güçlü etkilediğini gösterir (Agatonovic-Kustrin & Beresford, 2000). Uyarıcı/inhibitör nöron, bağlı nöronların ateşlenme hızlarını sırasıyla artırabilir/azaltabilir. Daha güçlü bağlantı, daha fazla engelleme veya uyarım anlamına gelir ve zayıf bir bağlantı için bunun tersi de geçerlidir. Transfer fonksiyonu, alınan girdideki değişikliklerle nöronun ateşleme hızındaki değişiklikleri açıklar. Transfer fonksiyonu, diğer karmaşık süreçlerin yanı sıra, girdilerin toplamı veya girdilerin ortalaması gibi bir nöronun girdileri arasındaki matematiksel ilişkileri temsil eder. Şekil 3.3'deki giriş verilerinin eşik değeri, Tablo 3.1'de gösterildiği gibi farklı türlerde olabilen bir transfer fonksiyonunu temsil eder (Malekian & Chitsaz, 2021)

Tablo 3.1. Transfer fonksiyonlarının matematiksel formları (Malekian & Chitsaz, 2021)

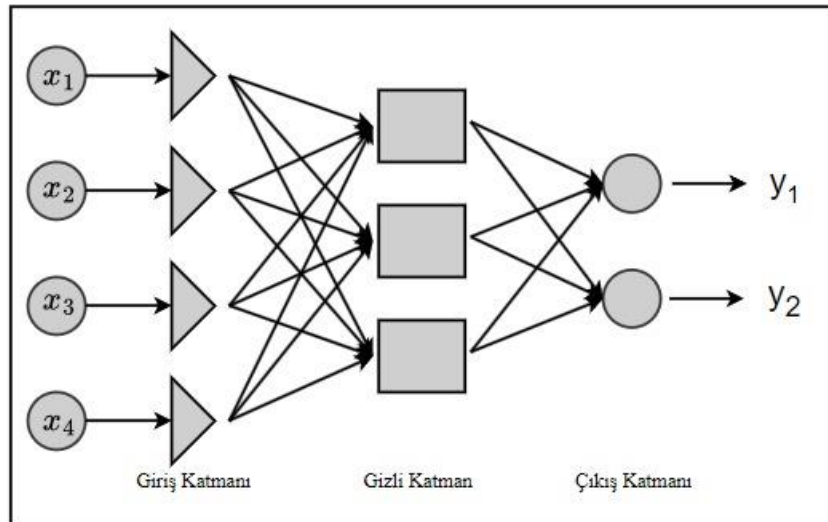
Transfer Fonksiyonu, $f(x)$	Matematiksel İfade	Grafik
Doğrusal	$f(x) = x$	
Birim adımı	$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < 0 \\ 1 & \text{if } x \geq 0 \end{cases}$	
Parçalı doğrusal (θ) : eşik	$f(x) = \begin{cases} \delta & x \geq \theta \\ x & -\theta \leq x \leq \theta \\ \delta x & x \leq -\theta \end{cases}$	
Günlük sigmoit	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}, \quad a > 0$	
Teğet sigmoit	$f(x) = \left(\frac{2}{1 + e^{-ax}} \right) - 1, \quad a > 0$	
Radyal taban (Gauss)	$f(x) = e^{-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^2}$	

3.3.3. Nöronların Mimarisi

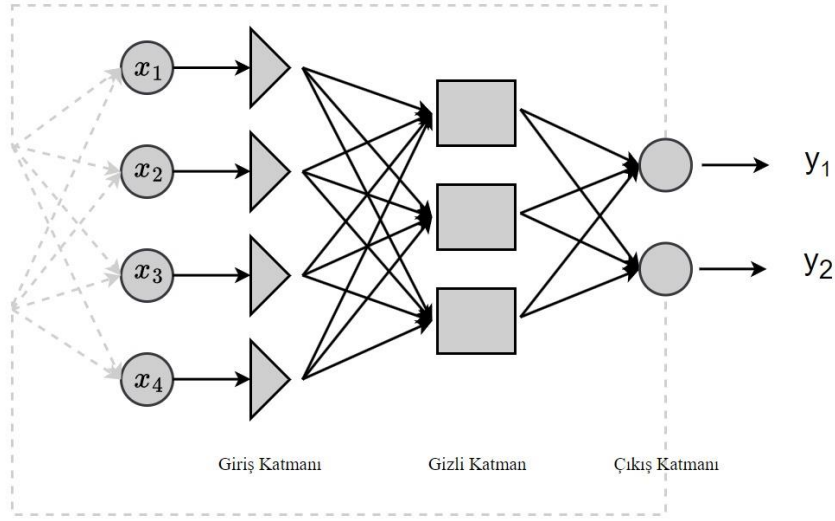
YSA'nın basit mimarisi bir giriş katmanı, bir transfer fonksiyonu ve bir çıkış katmanının birleşiminden oluşur fakat karmaşık pratik problemleri çözmek için tek bir nöron yeterli

değildir. Böylece algılayıcı içeren bir sinir ağı hem seri hem de paralel olarak kullanılır (Alotaibi, Ghumman, Haider, Ghazaw, & Shafiquzzaman, 2018). Nöron sayısı, YSA modelinin sorunlara çözüm sağlamadaki verimliliği ve yeteneği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ağların çoğu benzer temel yapıya sahip olmasına rağmen literatürde birçok sinir ağı türü bulunmaktadır. YSA yapısının üç ana bölümü vardır: (i) bir dizi giriş düğümü (nöronlar) içeren ilk giriş katmanı, (ii) gizli düğümler veya nöronlar içeren bir veya daha fazla gizli katman ve (iii) bir dizi giriş düğümü (nöronlar) içeren son çıkış katmanı (McNelis, 2005). Giriş düğümleri, geliştirilen sinir ağının ihtiyaç duyduğu giriş değişkenlerine ait tüm bilgileri sayısallaştırılmış resim veya sayısal değerler biçiminde içerir. Her düğümün ve önceki düğümlerinin aktivasyon fonksiyonlarının değerleri toplanır ve ağıdaki bir sonraki düğüme aktarılır. Geçen aktivasyon süreçleri bağlantı güçleri, inhibisyon veya uyarılma koşulları ve transfer fonksiyonları ile tanımlanır. Dolayısıyla aktivasyon bilgisi sinir ağı üzerinden giriş katmanından gizli katmanlara ve son olarak da çıkış katmanına tek tek geçer (Malekian & Chitsaz, 2021).

Nöronların yapılarından biri, Şekil 3.4'de gösterildiği gibi ileri beslemeli ağıdır. İleri beslemeli ağ yapısında, bir katmanın çıkışı bir önceki katmanın girişine bağlanır. Bu ağıdaki her adım, giriş sinyallerine ve ağın önceki durumlarına bağlıdır ve dolayısıyla ağı her adımı, önceki adımların hafızasını tutar. İleri beslemeli sinir ağında, bir düğümden sonraki katmanın düğümlerine yalnızca tek bir bağlantı vardır ve dolayısıyla önceki çıktı değerlerine ilişkin bir kayıt yoktur (Şekil 3.5.) (Agatonovic-Kustrin & Beresford, 2000).



Şekil 3.4. İleri beslemeli sinir ağı modelinin şeması (Malekian & Chitsaz, 2021)



Şekil 3.5. Geri beslemeli sinir ağı modelinin şeması (Malekian & Chitsaz, 2021)

3.3.4. Zaman Serili Yapay Sinir Ağları

Akarsu akışı, su döngüsünün en önemli bileşenlerinden biridir ve su rezervleri havza, bölgesel ve kıtasal ölçeklerde planlanması ve yönetimi için büyük önem taşımaktadır (Ghumman, Ahmad, & Hashmi, 2018). Akarsu akışı, akarsu ekosistemlerini doğrudan etkiler ve uzay-zamansal değişkenlik dikkate alınarak doğru tahmini, çevre ve su membaları yönetimi açısından önemlidir (Banihabib, Chitsaz, & Randhir, 2020). Akarsu akışının karakteristik modelleri karmaşıktır ve akarsu akışının doğrusal ve durağan olmayan özellikleri nedeniyle tahmin edilmesi kolay değildir (Tyralis, Papacharalampous, & Langousis, 2019). Geleneksel hidrolojik modeller, çeşitli havza süreçlerinin fiziksel ve matematiksel temelli temsiline sahiptir ve bu nedenle, esas itibarıyla durağan verilere uygun, doğrusal modellerdir. Geliştirilen hidrolojik modellerin çoğu, veri kümelerinin doğrusal olduğu ve durağan olmayan ve doğrusal olmayan hidrolojik veri kümelerini işleme ve işleme konusunda yetersiz olduğu varsayımına dayandığından, bu modeller doğrusal olmayan sorunların çözümü için uygun değildir (Ravansalar, Rajaei, & Kisi, 2017).

Hidrolojik modeller, stokastik zaman serilerinin veri dağılımlarındaki doğrusal olmayan ve durağan olmayan davranışlarla başa çıkmama kısıtlamalarına ek olarak, yağış, akarsu akışı ve arazi kullanımı/arazi örtüsü, toprak türleri gibi havza özellikleri dahil olmak üzere çeşitli hidrolojik süreçlere ilişkin kapsamlı verilere ihtiyaç duyar. Hidrolojik modellerin

kalibrasyon ve doğrulama gerekliliği hidrolojik modellerin bir diğer dezavantajıdır (Ghumman, Ahmad, & Hashmi, 2018). Öte yandan, YSA modelleri gibi veri odaklı yapay zeka modelleri, havza süreçleri ve özellikleri de dahil olmak üzere kapsamlı hidrolojik veri toplama gerekliliğini en aza indirme yeteneğine sahiptir. YSA modelleri her ne kadar durağan ve normal dağılımlı bir veriye ihtiyaç duymasa da doğal küresel olaylardaki durağan olmayan özellikleri kendi iç yapılarına yakalayıp etkilerini çıktılara aktarabilme yeteneğine sahiptir. YSA modelleri, veri setlerindeki herhangi bir karmaşıklık dikkate alarak girdi-çıkı ilişkilerini genelleştirme yeteneğine sahiptir (Dolling & Varas, 2002). Bu nedenle YSA modelleri fiziksel temelli hidrolojik modellere alternatif olarak uygulanmaktadır. Son birkaç on yılda, ANNmodeller, yağış-akış modellemesi, akarsu akışı tahmini, su kalitesi değerlendirmesi ve yeraltı suyu modellemesi bağlamında hidroloji ve su membaları yönetimi alanında giderek daha fazla kullanılmaktadır (Khazaee Poul, Shourian, & Ebrahimi, 2019).

Son hidrolojik çalışmalarda, karmaşık bir algoritma ve çözümler içeren veya içermeyen doğrusal olmayan hidrolojik süreçleri hassas bir şekilde simüle ederek gelişmiş tahmin sonuçları elde etmek için YSA modelleri dünya çapındaki araştırmacılar tarafından giderek daha fazla kullanılmaktadır (Allawi, ve diğerleri, 2019). Literatürde YSA modellerinin çoğunlukla iki hidrolojik olayın yani yağış ve akarsu akışının doğru simülasyonunda etkili olduğu ortaya çıkmaktadır (Shoaib, Shamseldin, Melville, & Khan, 2016). Bazı araştırmalarda akarsu akışı tahmininde sıcaklık ve buharlaşma etkili parametreler olarak ele alınmıştır (Noori, ve diğerleri, 2011). Ayrıca az sayıda çalışmada, akarsu akışı tahminlerini iyileştirmek için Güney Salınımı İndeksi (SOI), Kuzey Atlantik Salınımı (NAO), Pasifik On Yıllık Salınımı (PDO) ve Atlantik Çok Dekadal Salınım İndeksi (AMO) gibi iklim endeksleri uygulanmıştır.

YSA modelleri, (i) karmaşık eğitilmiş ağlar için doğrusal olmayan fonksiyonları temsil etme, (ii) veri sınıflandırma ve kümeleme için farklı veri kümeleri arasındaki ilişkileri bulma ve (iii) tanımlanan ilişkileri genelleştirme yetenekleri nedeniyle akış tahminlerinin doğru tahminlerini sağlar (Toth & Brath, 2007).

Akarsu akışı tahmin süreçleri zamansal ölçeklere göre iki gruba ayrılabilir. Birinci kategori, esas olarak su membaları sistemleri, taşkın uyarısı ve zarar azaltma sistemlerindeki gerçek zamanlı operasyonlara yönelik olan, saatlik ve günlük zaman

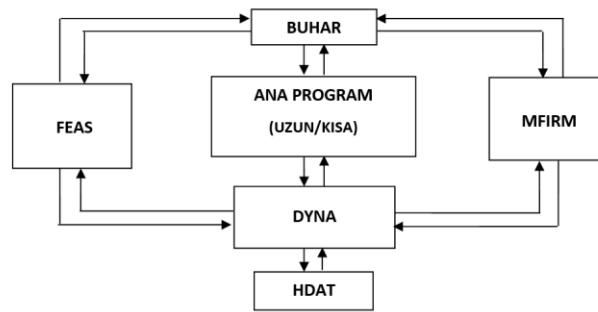
ölçeklerinde kısa vadeli tahmin süreçleri olarak adlandırılmaktadır. İkinci kategori, haftalık, aylık ve yıllık zaman ölçeklerine ilişkin uzun vadeli tahmin süreçleri olarak bilinir ve esas olarak rezervuar planlama ve operasyonları, rezervuar giriş serilerinin sentezlenmesi, sediman taşınımının değerlendirilmesi ve hidroelektrik ve sulama sistemlerinin planlanması için kullanılır (Malekian & Chitsaz, 2021) .

3.4. Kullanılan Program

Bu çalışmada, uzun süreli planlama kapsamında, çok işlevli ve biriktirme tesisleri olan bir su membarları sistemi için OPAN tarafından Doktora çalışması esnasında geliştirdiği optimal işletme modeli kullanılmıştır.

Bu işletme modellerine ait yazılım yapısında, ardışık yaklaşım tabanlı dinamik programlama optimizasyon tekniği kullanılmaktadır. Burada hedef fonksiyonu, belirleyici süreç dikkate alınarak bu döneme ait aylık akımların kullanılmasıyla güvenilir güç değerlerinin maksimize edilmesi ve sonrasında belirleyici süreçten elde edilen güvenilir güç değerlerinin sınırlayıcı olarak kullanılmasıyla aylık ortalama akımlarla toplam enerjinin maksimize edilmesi şeklinde tanımlanmıştır.

Model, hedef doğrultusunda öngörülen şekilde C++ dilinde geliştirilmiş ve MATLAB uygulamasında uygulanmıştır. Program, boyutların doğru şekilde ayarlanması ile, ardışık olarak bağlı ve istenilen sayıda enerji amaçlı depolamalı barajın oluşturduğu su membarları sistemine kolayca uyarlanabilir (Opan , 2007).



Şekil 3.6. Uzun ve kısa vadeli işletme modellerine yönelik yazılım yapısı (Opan , 2007)

Yazılım, bir adet asıl modül ve beş destekleyici modülden meydana gelmektedir. Yazılımın yapısı ve asıl modül ile destekleyici modüllerin birbiriyle bağlantıları Şekil

3.6'da gösterilmiştir. Yazılımın asıl modülü ve destekleyici modüllerin dosya adı uzantıları *.m şeklindedir, giriş ve çıkış verilerinin dosya adı uzantıları *.mat şeklinde yazılabilir (Opan , 2007).

DYNA: Her bir adımda vaziyet ve hüküm değişken değerlerinin sırasıyla göz önünde bulundurularak hedef fonksiyonunda analiz edildiği bir destekleyici modüldür.

FEAS: Durum ve karar değişkenlerinin uygunluğunun değerlendirildiği bir destekleyici modüldür.

MFİRM : Azami derecede fayda sağlayan çözümler içinden azami fayda sağlayan çözümün seçilmesine yardım eden bir destekleyici modüldür.

HDAT: Herhangi bir hacme karşılık olan seviyenin hesaplanmasında kullanılan bir alt programdır.

BUHAR: Herhangi bir işletme seviyesinde buharlaşma miktarının ne kadar olacağını hesaplayan bir alt programdır.

3.4.1. Modellere Giren Veriler

Enerji planlaması hedefli olarak uzun süreli optimal işletme çalışmaları ile taşkın yönetimi hedefli kısa süreli optimal işletme çalışmalarında modellere girilen verilen aşağıda sunulmuştur.

- Kurulu güç değerleri
- Maksimum/Minimum işletme hacmi
- Enerji elde edilmesi için bırakılan maksimum su ölçüsü
- Taşkın yönetimi için bırakılan maksimum su ölçüsü
- Havzadan gelen ortalama akım
 - Kurak dönem akımları
 - Aylık ortalama akımlar
 - Su Tüketim Değerleri
- Hacim yükseklik eğrileri
- Buharlaşma miktarı

Tablo 4.1. Yukarı Sakarya Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri (DSİ, 2012)

Drenaj Alanı	km ²	21 342
Ortalama Rakım	m	1 166
Nüfus (2012)	kişi	416 622
Nüfus Yoğunluğu	kişi/km ²	20
Belediye Nüfusu (2012)	kişi	257 077
Belediye Nüfusunun Toplam Nüfusa Oranı	%	0,62
Yıllık Ort. Doğal Akım	hm ³	977,4
Yıllık Ort. Doğal Akım	m ³ /s	31,0
Yıllık Ort. Verim	l/s/km ²	1,45
Yıllık Ort. Yağış Yüksekliği	mm	390
Yıllık Ort. Akış Yüksekliği	mm	45,8
Akış / Yağış Oranı	%	11,7

4.2. Porsuk Alt Havzası

Porsuk Alt Havza'sı 10 825,19 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Havza, doğubatı yönünde 202 km, kuzey-güney yönünde 135 km genişliğe sahip olup, 448 km uzunluğu ile Sakarya Irmağı'nın en önemli koludur. Tablo 4.2'de Porsuk Alt Havzası genel karakteristik değerleri verilmiştir.

Tablo 4.2. Porsuk Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri (DSİ, 2012)

Drenaj Alanı	km ²	10 825
Ortalama Rakım	m	1050.80
Nüfus (2012)	kişi	1 002 397
Nüfus Yoğunluğu	kişi/km ²	93
Belediye Nüfusu (2012)	kişi	930 614
Belediye Nüfusunun Toplam Nüfusa Oranı	%	0.93
Yıllık Ortalama Doğal Akım	hm ³	487.90
Yıllık Ortalama Doğal Akım	m ³ /s	15.47
Yıllık Ortalama Verim	l/s/km ²	1.43
Yıllık Ortalama Yağış Yüksekliği	mm	466.44
Yıllık Ortalama Akış Yüksekliği	mm	45.1
Akış / Yağış Oranı	%	9.7

4.3. Ankara/Kirmir Alt Havzası

Ankara Çayı Alt Havzası, 7 178 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Havza, doğu-batı yönünde 106 km, kuzey-güney yönünde 127 km genişliğe sahiptir. Tablo 4.3'de Ankara Çayı Alt Havzası genel karakteristik değerleri verilmiştir.

Kirmir Alt Havzası, Sakarya Havzası'nın doğusunda bulunmakta olup, 4 600 km² 'lik yer kaplamaktadır. Çalışma alanı doğu - batı yönünde yaklaşık 67 km, kuzey-güney yönünde yaklaşık 89 km genişliğe sahip olup, en uzun kolu ise 196,98 km'dir. Tablo 4.4'de Kirmir Çayı Alt Havzası genel karakteristik değerleri verilmiştir.

Tablo 4.3. Ankara Çayı Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri (DSİ, 2012)

Drenaj Alanı	km ²	7 178
Ortalama Rakım	m	1073
Nüfus (2012)	kişi	4 587 421
Nüfus Yoğunluğu	kişi/km ²	640
Belediye Nüfusu (2012)	kişi	4 572 464
Belediye Nüfusunun Toplam Nüfusa Oranı	%	0,997
Yıllık Ort. Doğal Akım	hm ³	389,18
Yıllık Ort. Doğal Akım	m ³ /s	12,34
Yıllık Ort. Verim	l/s/km ²	1,72
Yıllık Ort. Yağış Yüksekliği	mm	416,02
Yıllık Ort. Akış Yüksekliği	mm	54,22
Akış / Yağış Oranı	%	13,03

Tablo 4.4. Kirmir Çayı Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri (DSİ, 2012)

Drenaj Alanı	km ²	4 600
Ortalama Rakım	m	260
Nüfus (2012)	kişi	94 775
Nüfus Yoğunluğu	kişi/km ²	20,60
Belediye Nüfusu (2012)	kişi	73 189
Belediye Nüfusunun Toplam Nüfusa Oranı	%	0,77
Yıllık Ort. Doğal Akım	hm ³	601,74
Yıllık Ort. Doğal Akım	m ³ /s	19,08
Yıllık Ort. Verim	l/s/km ²	4,15
Yıllık Ort. Yağış Yüksekliği	mm	475,50
Yıllık Ort. Akış Yüksekliği	mm	130,81
Akış / Yağış Oranı	%	27,50

4.4. Göksu Alt Havzası

Göksu Havzası Sakarya Havzası'nın batısında bulunmakta olup, Bursa'nın doğu kısmında, Yenişehir ve İnegöl ilçelerini içine almaktadır. Bilecik Pazaryeri ve Merkez ilçelerinin batı kısmı havza içinde bulunmaktadır. Tablo 4.5'de Göksu Alt Havzası genel karakteristik değerleri verilmiştir.

Tablo 4.5. Göksu Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri (DSİ, 2012)

Drenaj Alanı	km ²	2 435
Ortalama Rakım	m	260.00
Nüfus (2012)	kişi	288 985
Nüfus Yoğunluğu	kişi/km ²	94
Belediye Nüfusu (2012)	kişi	229 627
Belediye Nüfusunun Toplam Nüfusa Oranı	%	79
Yıllık Ortalama Doğal Akım	hm ³	649.584
Yıllık Ortalama Doğal Akım	m ³ /s	20.60
Yıllık Ortalama Verim	l/s/km ²	8.46
Yıllık Ortalama Yağış Yüksekliği	mm	689.9
Yıllık Ortalama Akış Yüksekliği	mm	266.79
Akış / Yağış Oranı	%	38.67

4.5. Aşağı Sakarya Alt Havzası

Aşağı Sakarya Alt Havzası, 4 830 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Havza, doğu-batı yönünde 113 km, kuzey-güney yönünde 90 km genişliğe sahiptir. Tablo 4.6'da Aşağı Sakarya Alt Havzası genel karakteristik değerleri verilmiştir.

Tablo 4.6. Aşağı Sakarya Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri (DSİ, 2012)

Drenaj Alanı	km ²	4 830
Ortalama Rakım	m	436
Nüfus (2012)	kişi	805 421
Nüfus Yoğunluğu	kişi/km ²	167
Belediye Nüfusu (2012)	kişi	557 127
Belediye Nüfusunun Toplam Nüfusa Oranı	%	0.69
Yıllık Ort. Doğal Akım	hm ³	2 283.6
Yıllık Ort. Doğal Akım	m ³ /s	72.4
Yıllık Ort. Verim	l/s/km ²	14.99
Yıllık Ort. Yağış Yüksekliği	mm	816
Yıllık Ort. Akış Yüksekliği	mm	473
Akış / Yağış Oranı	%	57.9

4.6. Orta Sakarya Alt Havzası

Orta Sakarya Havzası; 12 093 km² 'den oluşmaktadır. Orta Sakarya Alt Havzası'nın en geniş yeri doğu-batı istikametinde 200 km, kuzey-güney istikametinde 90 km'dir. Tablo 4.7'de Orta Sakarya Alt Havzası genel karakteristik değerleri verilmiştir.



Şekil 4.2. Gürsöğüt Barajı (URL-1)



Şekil 4.3. Kargı Barajı (URL-2)



Şekil 4.4. Sarıyar Barajı (URL-3)



Şekil 4.5. Gökçekaya Barajı (URL-4)



Şekil 4.6. Yenice Barajı (URL-5)

Tablo 4.7. Orta Sakarya Alt Havzası Genel Karakteristik Değerleri (DSİ, 2012)

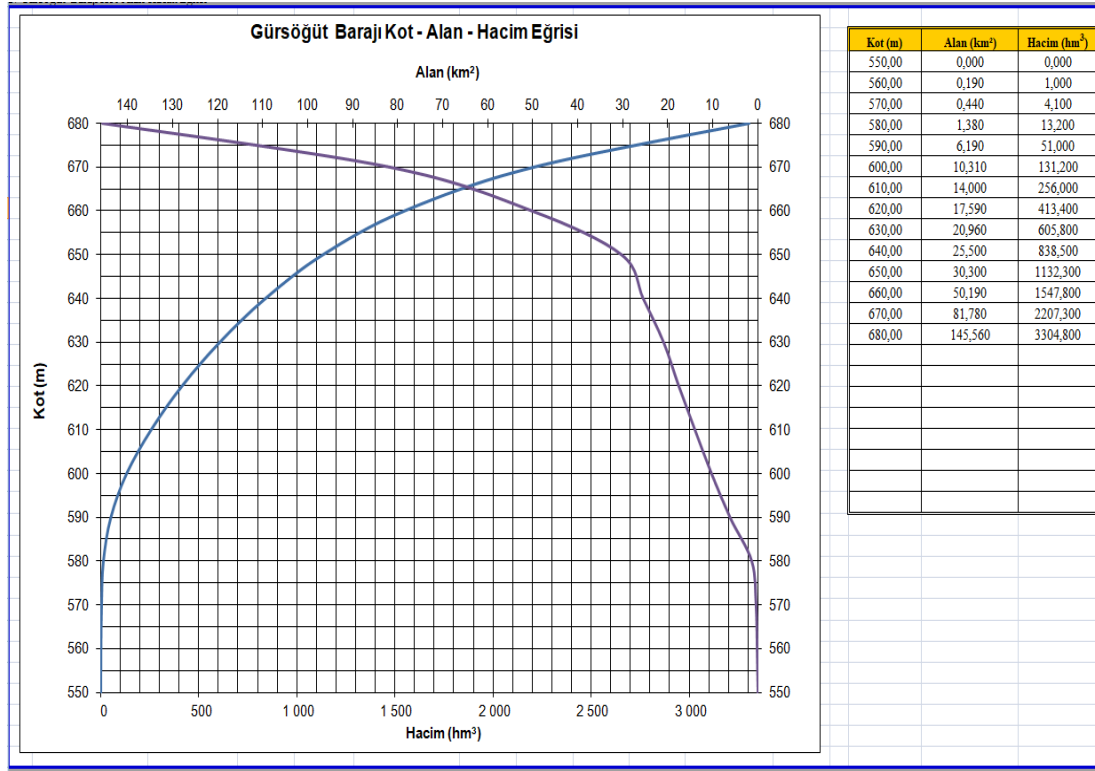
Drenaj Alanı	km ²	12 093
Ortalama Rakım	m	897
Nüfus (2012)	kişi	343 357
Nüfus Yoğunluğu	kişi/km ²	28
Belediye Nüfusu (2012)	kişi	248 813
Belediye Nüfusunun Toplam Nüfusa Oranı	%	0.72
Yıllık Ortalama Doğal Akım	hm ³	1100.303
Yıllık Ortalama Doğal Akım	m ³ /s	34.89
Yıllık Ortalama Verim	l/s/km ²	2.89
Yıllık Ortalama Yağış Yüksekliği	mm	461.00
Yıllık Ortalama Akış Yüksekliği	mm	91.00
Akış / Yağış Oranı	%	19.74

Bu havzaya ait barajların teknik özellikleri Tablo 4.8’de verilmiştir.

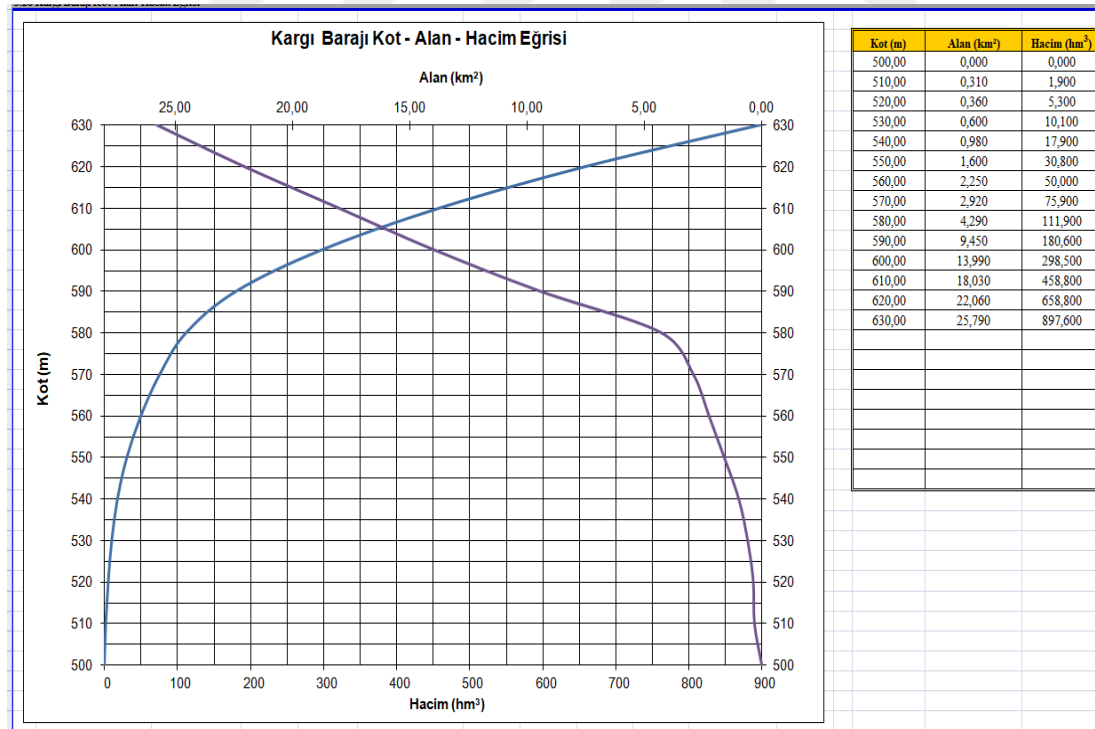
Orta Sakarya Alt Havzasında bulunan barajlara ait Kot-Alan-Hacim Eğrileri Şekil 4.7'den başlayarak Şekil 4.11'e kadar verilmiştir. Bu veriler uzun süreli işletme modelleme çalışmalarında kullanılacaktır.

Tablo 4.8. Orta Sakarya Alt Havzasına ait Barajların Teknik Özellikleri (DSİ, 2012)

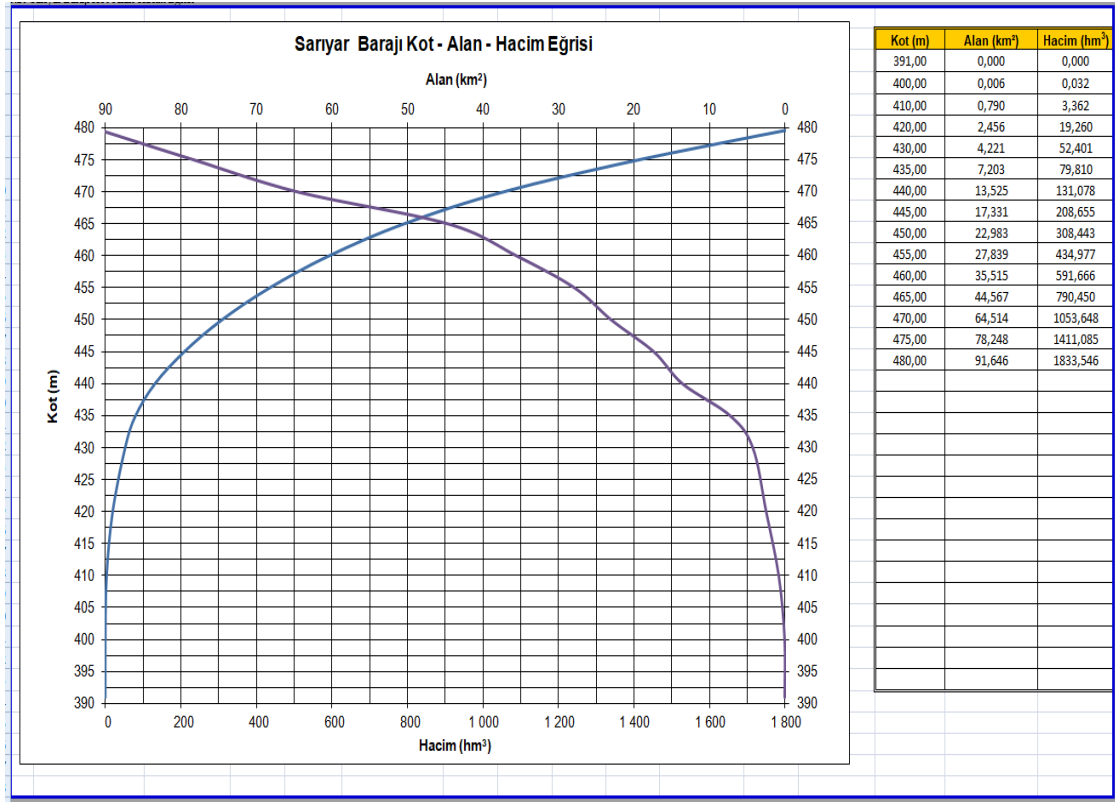
Barajlar	Gürsöğüt	Kargı	Sarıyar	Gökçekaya	Yenice
Yağış Alanı (km ²)	39872	39920	47562	49246	49463
Amaç	Enerji	Enerji	Enerji	Enerji	Enerji
Kurulu Güç (MW)	70,6	97,44	160	278,4	37,9
Baraj Yüksekliği (m)	130	84	120	115	41
Maksimum İşletme Seviyesi (m)	649	557,5	475	389	273,1
Minimum İşletme Seviyesi (m)	623	552,6	460	377,5	272
Maksimum Hacim (10 ⁶ m ³)	1102,92	45200	1411,08	953,65	58,2
Minimum Hacim (10 ⁶ m ³)	471,12	35792	591,6	731,8	53,88
Kuyruksuyu Kotu (m)	557,5	475	389	273,1	244,9
Dolu Savak Kapasitesi (m ³ /s)			7500	5500	5600
Tünel Uzunluğu (m)	440,0	440,0	945,0	473,2	50,0
Tünel Çapı (m)	6,50	6,50	8,00	9,25	6,00
Tünel Sürtünme Fak.	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
Tünelde Max. Hız (m/s)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Cebri Boru Uzunluğu (m)	210,0	244,0	595,0	1080,0	50
Cebri Boru Çapı (m)	4,80	6,08	7,50	5,25	5,25
Cebri Boru Sürtünme Fak.	0,016	0,016	0,016	0,014	0,014
Cebri Boruda Max. Hız (m/s)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0



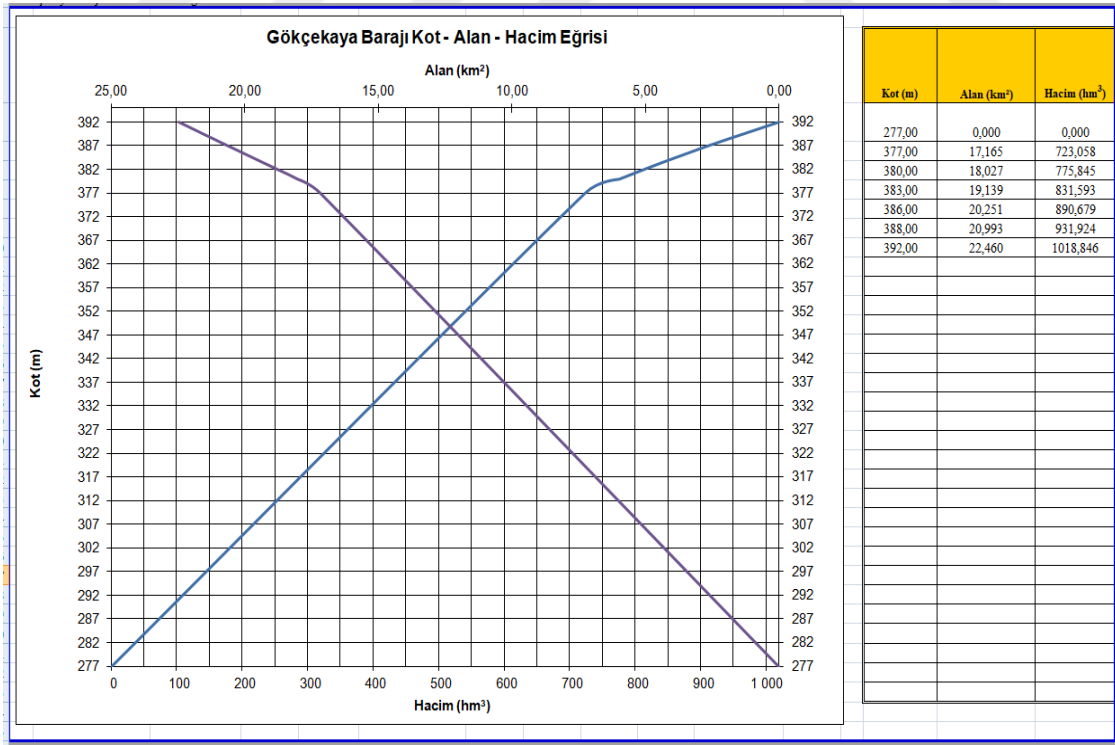
Şekil 4.7. Gürsöğüt Barajı Kot-Alan-Hacim Eğrisi (DSİ, 2012)



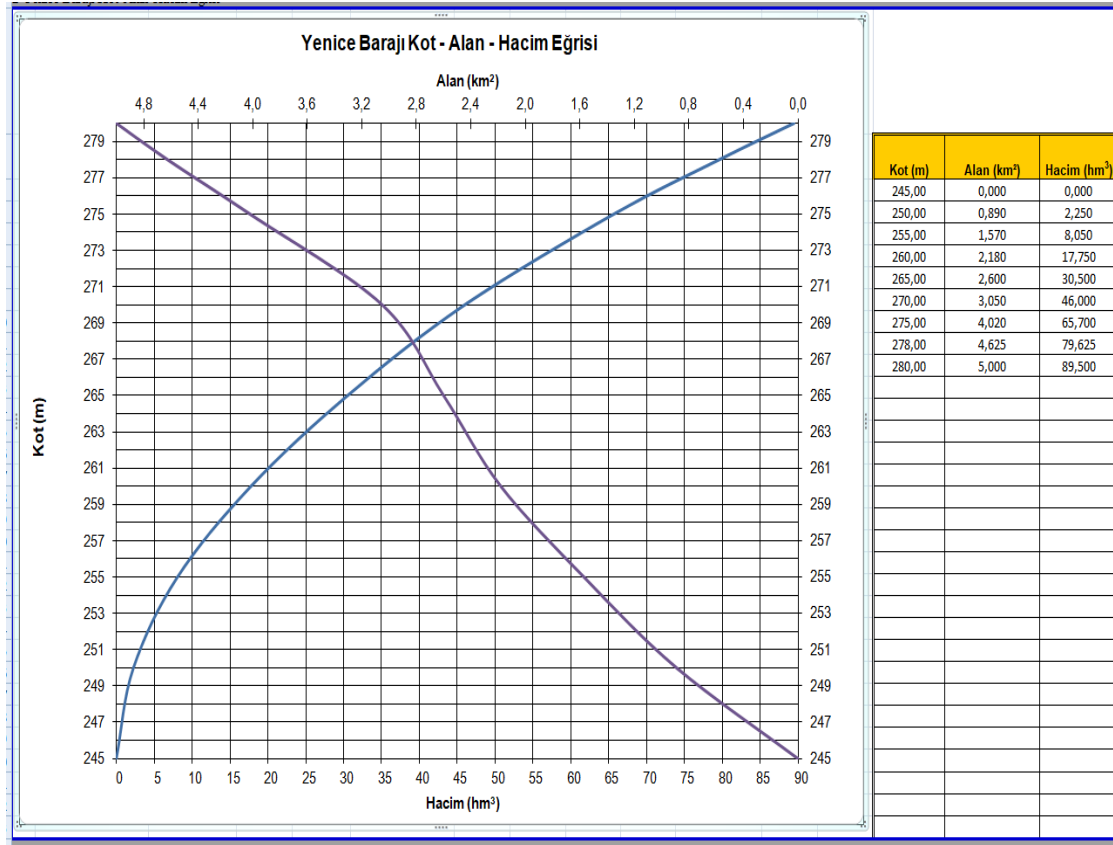
Şekil 4.8. Kargı Barajı Kot-Alan-Hacim Eğrisi (DSİ, 2012)



Şekil 4.9. Sarıyar Barajı Kot-Alan-Hacim Eğrileri (DSİ, 2012)



Şekil 4.10. Gökçekaya Barajı Kot-Alan-Hacim Eğrileri (DSİ, 2012)



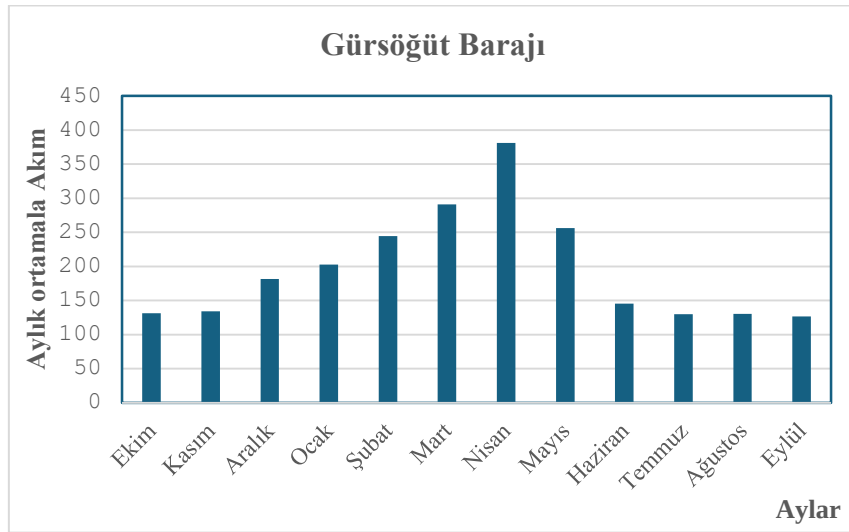
Şekil 4.11. Yenice Barajı Kot-Alan-Hacim Eğrileri (DSİ, 2012)

Orta Sakarya Alt Havzasında bulunan barajlara ait 1974 yılından 2012 yılına kadar olan veriler DSİ Genel Müdürlüğünden temin edilmiş olup, Tablo 4.9'dan başlayarak Tablo 4.13'e kadar verilmiştir (DSİ, 2012). Ayrıca her bir baraja gelecek aylık ortalama akımlar, Şekil 4.12'den başlayarak Şekil 4.16'ya kadar gösterilmiştir. Bu verilerin bir kısmı YSA modelinde eğitim, bir kısmı ise test verisi olarak kullanılacaktır. Eğitim verilen YSA modeli kullanılarak 2013-2030 yılları arasındaki veriler tahmin edilecektir. Tahmin edilen veriler uzun süreli işletme modelleme çalışmalarında kullanılacaktır.

Uzun süreli işleme modelleme çalışmaları iki aşamalı olup, birinci aşamasında aylık ortalama kurak dönem akımları kullanılarak güvenilir enerji maksimize edilmektedir. Bu yapılan işlem ile enerji üretimine alt kısıt oluşturulmaktadır. İkinci aşamada ise maksimize edilen güvenilir enerji modele kısıt olarak girilmekte ve aylık ortalama akımlar kullanılarak toplam enerji en büyüklenmektedir. Birinci ve ikinci aşamada, sırasıyla, minimum ve normal işletme seviyeleri ile optimum enerji üretimi için su bırakım takvimi elde edilmektedir.

Tablo 4.9. Gürsöğüt Barajına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (hm³) (DSİ, 2012)

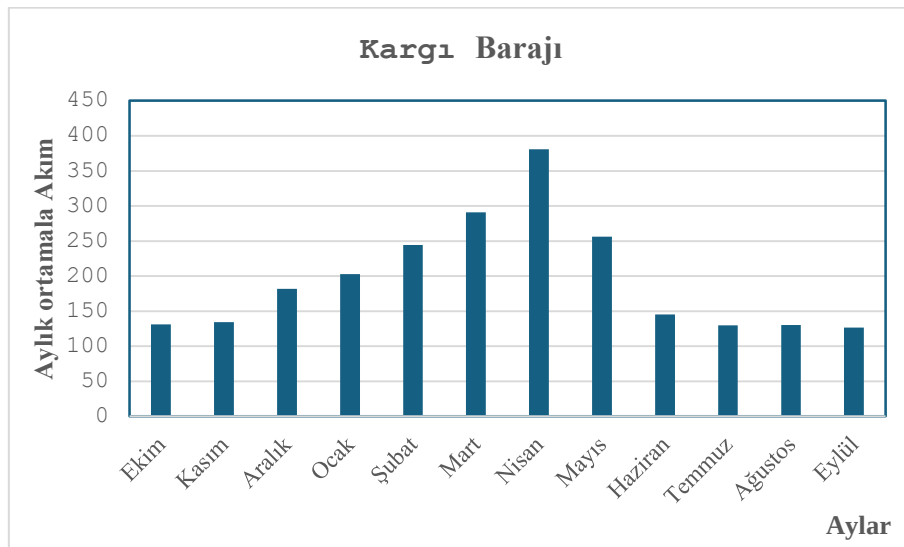
Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1974	104,12	104,47	113,14	99,88	94,48	93,30	106,06	103,14	79,08	44,50	50,77	78,07	1071,00
1975	106,61	115,82	110,98	113,74	106,54	119,52	152,52	246,83	123,09	60,61	63,31	76,62	1396,17
1976	107,33	120,85	123,09	121,98	138,02	185,66	222,14	151,14	112,64	66,37	67,07	93,34	1509,63
1977	129,24	130,61	150,25	129,17	177,21	131,24	156,01	111,47	65,59	53,12	55,89	112,64	1402,42
1978	137,85	115,52	120,75	137,66	251,83	164,74	241,02	139,72	94,03	63,60	57,49	105,91	1630,12
1979	148,16	168,27	209,75	305,46	310,66	162,80	158,57	159,30	165,49	79,32	77,75	126,68	2072,21
1980	189,33	189,07	180,32	187,95	195,96	248,85	271,14	228,44	117,33	74,49	88,46	144,92	2116,27
1981	180,27	160,31	165,91	208,96	200,44	375,45	248,99	201,85	124,69	100,98	90,40	138,24	2196,50
1982	182,52	194,03	263,33	219,06	162,26	147,98	232,82	171,12	141,33	76,74	76,70	101,58	1969,47
1983	138,56	141,56	136,12	134,88	127,97	162,64	205,58	107,73	127,59	84,77	75,31	87,14	1529,85
1984	110,29	143,34	190,58	169,89	193,58	229,01	367,38	360,74	132,95	130,75	130,63	127,78	2286,92
1985	152,93	159,44	158,49	170,87	161,97	204,35	244,10	121,36	116,77	83,28	81,21	96,86	1751,64
1986	130,91	147,72	144,97	185,09	194,49	155,13	111,44	104,04	115,24	62,91	61,86	88,65	1502,46
1987	111,67	117,81	131,43	196,40	201,62	167,32	267,47	172,74	110,94	62,88	59,46	75,29	1675,03
1988	118,46	135,75	155,44	141,63	125,60	179,67	236,03	149,44	131,40	68,76	63,49	91,27	1596,94
1989	136,17	162,87	163,28	142,69	127,09	104,73	94,94	89,64	79,06	49,63	50,66	68,04	1268,80
1990	119,26	122,39	151,19	137,62	127,03	114,53	157,26	134,08	82,27	50,14	44,79	81,07	1321,63
1991	106,09	116,42	137,93	125,17	124,88	103,07	142,64	117,02	85,73	31,80	34,91	70,94	1196,60
1992	111,50	113,58	124,74	117,99	108,82	139,89	228,61	74,71	68,31	65,72	39,78	55,65	1249,30
1993	95,06	110,54	130,12	125,43	138,59	163,54	157,81	148,46	79,60	25,15	26,20	54,47	1254,96
1994	85,97	95,66	113,48	120,36	107,48	90,15	105,33	82,04	35,84	15,51	23,93	46,48	922,22
1995	79,24	100,61	106,25	126,73	106,66	109,46	170,01	88,01	48,36	47,86	33,09	60,96	1077,22
1996	89,51	121,36	120,96	130,07	131,38	153,37	228,72	114,44	84,43	33,55	36,59	74,94	1319,31
1997	113,40	109,81	135,47	150,39	124,52	92,84	209,26	177,69	125,82	40,51	62,39	78,91	1421,00
1998	134,95	149,95	187,68	162,96	193,20	151,76	252,08	245,08	200,46	47,09	35,33	76,06	1836,61
1999	120,70	134,21	156,64	151,18	196,60	214,83	275,79	122,73	99,83	67,00	79,16	104,34	1723,01
2000	131,57	141,24	148,09	138,34	126,81	118,78	241,34	140,56	93,86	62,73	69,11	94,86	1507,30
2001	117,56	121,82	126,17	125,99	113,69	80,52	115,44	117,83	67,03	58,54	62,83	81,05	1188,47
2002	104,11	126,08	206,85	172,29	159,13	142,49	267,35	145,37	84,46	79,33	80,71	112,90	1681,06
2003	135,05	143,69	143,15	152,19	146,43	92,81	192,98	118,00	85,72	74,54	86,67	111,16	1482,42
2004	131,46	140,85	142,53	149,85	152,37	111,30	194,90	123,54	87,84	75,86	83,85	104,79	1499,15
2005	120,48	123,39	126,28	134,26	121,33	129,23	169,99	127,54	105,76	78,60	84,20	111,25	1432,31
2006	129,09	139,62	136,23	130,42	137,08	144,96	149,14	101,88	67,81	63,05	65,20	95,54	1360,02
2007	126,18	124,16	131,07	119,14	115,32	78,60	111,45	97,03	68,61	54,58	60,72	79,57	1166,41
2008	97,19	115,24	146,14	107,68	92,74	117,26	140,08	94,55	64,56	50,99	56,28	80,44	1163,14
2009	107,84	121,69	120,85	142,77	171,96	129,08	203,02	149,77	82,17	69,38	75,35	103,34	1477,23
2010	124,38	135,92	165,20	162,60	215,12	132,30	167,11	112,83	95,03	71,70	79,29	107,02	1568,51
2011	150,46	140,55	178,22	156,73	125,63	122,47	206,41	165,70	136,41	89,05	87,60	112,95	1672,19
2012	149,34	154,47	161,90	156,88	149,62	164,45	217,07	151,59	102,30	91,44	95,00	116,49	1710,54
ORT.	124,74	133,61	149,10	150,32	152,72	146,93	195,38	142,80	99,73	64,28	65,47	93,03	1518,10



Şekil 4.12. Gürsöğüt Barajına gelen aylık ortalama akımlar (10⁶/m³/ay)

Tablo 4.10. Kargı Barajına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (hm³) (DSİ, 2012)

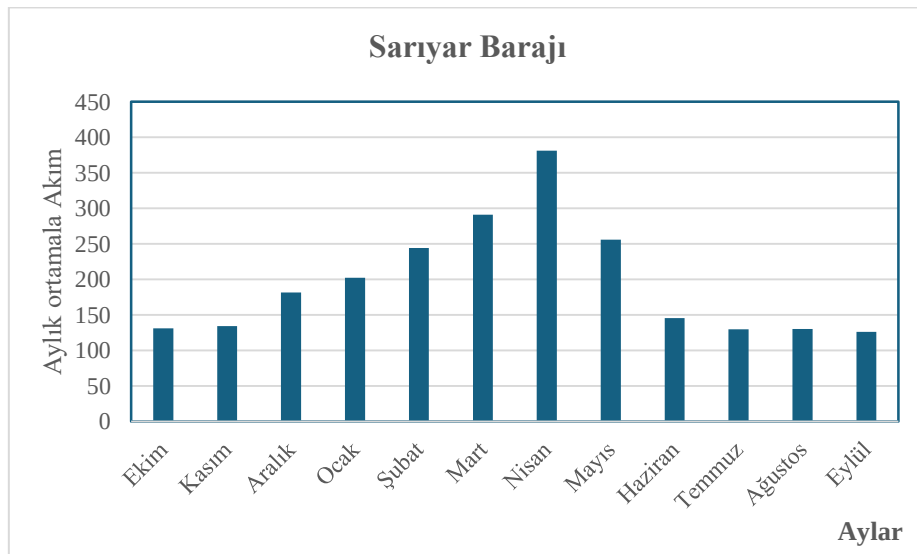
Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1974	102,63	104,47	113,14	99,88	94,48	93,30	105,46	101,26	85,04	88,84	90,43	88,49	1167,42
1975	91,44	87,77	89,85	89,06	79,67	118,46	151,92	244,95	119,81	88,25	89,30	87,15	1337,63
1976	90,02	86,28	97,27	121,98	138,02	185,66	221,54	149,26	109,35	88,16	89,04	86,54	1463,12
1977	88,70	120,58	150,25	129,17	177,21	131,24	155,41	109,59	85,26	89,16	90,53	87,90	1414,99
1978	89,65	85,50	116,76	137,66	251,83	164,74	240,42	137,84	90,74	88,20	89,30	86,75	1579,40
1979	97,31	168,27	209,75	305,46	310,66	162,80	157,98	157,42	162,21	87,94	88,41	95,12	2003,33
1980	187,85	189,07	180,32	187,95	195,96	248,85	270,54	226,56	114,05	88,02	88,39	119,18	2096,74
1981	178,78	160,31	165,91	208,96	200,44	375,45	248,39	199,96	121,40	96,45	87,75	133,05	2176,88
1982	181,04	194,03	263,33	219,06	162,26	147,98	232,22	169,24	138,04	87,98	88,51	85,72	1969,41
1983	117,64	141,56	136,12	134,88	127,97	162,64	204,98	105,84	124,31	87,85	88,26	85,73	1517,78
1984	88,27	136,99	190,58	169,89	193,58	229,01	366,79	358,85	129,67	126,22	126,10	124,46	2240,42
1985	151,45	159,44	158,49	170,87	161,97	204,35	243,51	119,48	113,49	87,87	88,21	85,42	1744,55
1986	116,98	147,72	144,97	185,09	194,49	155,13	110,85	102,16	111,96	88,21	89,25	86,92	1533,73
1987	89,49	85,74	121,17	196,40	201,62	167,32	266,88	170,85	107,66	88,22	89,29	87,23	1671,85
1988	89,93	85,76	153,31	141,63	125,60	179,67	235,43	147,56	128,12	88,12	89,02	86,61	1550,77
1989	88,70	156,50	163,28	142,69	127,09	104,73	94,34	87,76	85,04	88,75	90,25	88,48	1317,62
1990	91,38	87,39	92,34	137,62	127,03	114,53	156,66	132,19	84,99	88,63	90,21	88,33	1291,31
1991	91,21	87,55	89,14	107,20	124,88	103,07	142,05	115,13	84,93	88,83	90,92	89,41	1214,32
1992	92,46	88,73	90,65	89,56	82,93	125,02	228,01	87,97	85,71	89,39	90,83	89,50	1240,76
1993	93,15	89,77	91,69	90,39	80,20	160,61	157,21	146,58	85,03	89,15	91,56	90,52	1265,85
1994	94,46	91,52	94,12	93,25	83,38	91,91	88,70	91,57	89,81	95,47	99,11	99,49	1112,79
1995	105,22	102,68	106,16	105,52	94,41	104,00	98,54	100,25	98,80	105,40	109,80	111,32	1242,10
1996	118,72	116,01	119,56	118,98	109,91	114,85	105,22	104,70	101,65	108,02	113,74	115,33	1346,69
1997	121,63	118,16	122,24	120,16	106,51	118,26	111,34	108,77	102,60	107,55	111,66	111,61	1360,48
1998	116,08	109,92	109,16	104,94	90,67	96,49	89,38	189,96	197,18	88,48	90,27	88,64	1371,17
1999	91,37	87,15	110,79	151,18	196,60	214,83	275,19	120,84	96,55	88,15	88,81	85,93	1607,39
2000	105,51	141,24	148,09	138,34	126,81	118,78	240,75	138,68	90,58	88,22	89,13	86,57	1512,69
2001	88,91	99,66	126,17	125,99	113,69	87,84	107,52	115,94	85,24	89,02	90,16	87,95	1218,10
2002	90,86	87,07	159,59	172,29	159,13	142,49	266,75	143,48	84,95	88,07	88,49	85,44	1568,61
2003	128,48	143,69	143,15	152,19	146,43	92,81	192,39	116,12	84,93	88,10	88,51	85,39	1462,20
2004	125,59	140,85	142,53	149,85	152,37	111,30	194,30	121,65	84,90	88,01	88,44	85,47	1485,26
2005	108,98	123,39	126,28	134,26	121,33	129,23	169,39	125,66	102,48	87,95	88,32	85,49	1402,75
2006	127,60	139,62	136,23	130,42	137,08	144,96	148,55	100,00	85,22	88,91	89,93	87,43	1415,94
2007	89,65	85,56	129,62	119,14	115,32	87,88	101,58	95,14	85,21	89,03	90,28	88,14	1176,54
2008	91,20	87,71	89,18	92,38	92,74	117,26	139,48	92,66	85,28	89,23	90,64	88,57	1156,35
2009	91,45	87,66	89,46	106,63	171,96	129,08	202,43	147,89	84,99	88,31	89,01	86,20	1375,08
2010	89,19	135,92	165,20	162,60	215,12	132,30	166,52	110,95	91,74	88,07	88,64	85,72	1531,96
2011	132,34	140,55	178,22	156,73	125,63	122,47	205,82	163,81	133,13	87,78	87,91	101,58	1635,95
2012	147,85	154,47	161,90	156,88	149,62	164,45	216,47	149,71	99,01	87,74	89,65	113,17	1690,91
ORT.	109,83	119,39	135,28	142,49	145,30	145,02	182,33	138,67	103,87	91,17	92,26	93,64	1499,25



Şekil 4.13. Kargı Barajına gelen aylık ortalama akımlar (10⁶m³/ay)

Tablo 4.11. Sarıyar Barajına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (hm³) (DSİ, 2012)

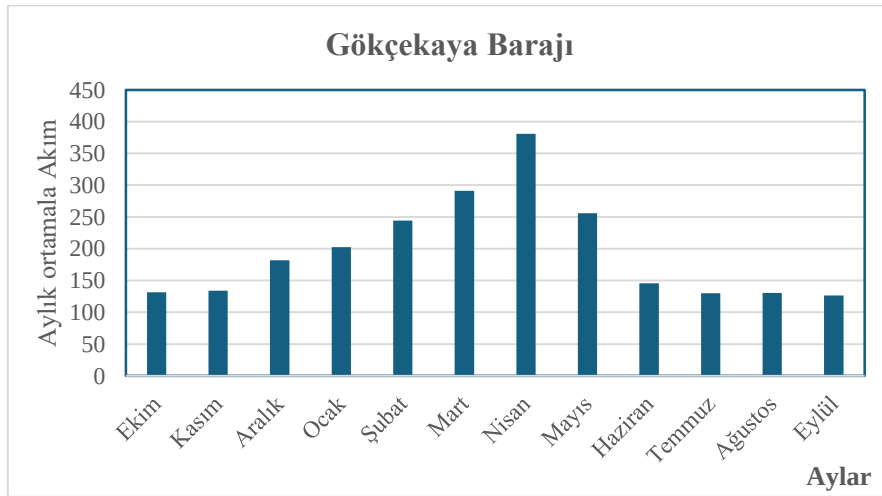
Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1974	93,70	122,06	169,09	121,05	169,70	362,50	167,07	351,25	67,70	18,59	22,48	58,27	1723,46
1975	89,73	118,51	142,92	171,54	195,21	492,13	508,55	731,88	154,97	43,10	38,67	61,54	2748,74
1976	95,14	144,20	181,73	166,12	179,61	408,18	464,15	207,36	95,70	40,55	40,17	66,38	2089,30
1977	114,07	129,44	232,91	145,59	374,01	222,00	225,54	130,16	51,17	38,78	42,76	113,84	1820,26
1978	129,47	124,14	127,02	189,63	686,14	486,41	574,75	275,86	93,07	55,89	44,43	89,65	2876,45
1979	143,38	178,89	348,59	726,54	683,11	285,37	226,72	250,68	236,15	72,58	69,71	123,80	3345,53
1980	179,58	237,03	280,29	275,34	298,37	629,68	646,22	398,22	110,00	56,49	71,11	132,45	3314,79
1981	173,92	181,39	345,79	476,61	435,67	996,80	546,50	381,93	133,27	105,09	85,86	141,22	4004,06
1982	181,78	305,37	727,92	428,19	284,96	329,15	511,56	261,14	177,64	71,36	73,57	100,54	3453,20
1983	136,97	169,03	145,48	146,42	161,13	315,92	386,54	128,42	183,93	97,61	73,91	118,02	2063,38
1984	123,32	220,68	363,69	282,38	325,01	490,56	773,55	574,26	140,64	110,28	128,58	134,91	3667,86
1985	121,37	160,79	166,22	221,54	255,60	355,43	473,33	179,53	135,10	66,54	61,36	78,23	2275,03
1986	112,54	169,55	181,65	362,94	444,89	305,43	171,21	146,38	133,72	48,72	42,60	79,71	2199,34
1987	102,41	134,37	159,60	370,71	419,24	234,45	590,30	369,81	151,69	52,82	50,10	67,04	2702,54
1988	122,61	162,40	198,74	146,06	144,87	283,44	479,97	185,71	183,62	70,49	66,15	102,14	2146,19
1989	126,50	214,23	322,92	160,63	157,62	206,88	70,78	110,94	89,73	69,15	66,92	88,32	1684,61
1990	137,29	206,73	303,92	206,44	189,15	272,51	390,06	262,28	93,88	60,38	61,09	96,95	2280,68
1991	118,36	142,34	184,67	127,21	168,80	180,03	174,13	171,78	148,72	51,67	46,60	82,22	1596,51
1992	120,20	135,68	181,61	137,48	129,29	308,94	712,18	173,63	95,33	75,88	42,75	61,70	2174,68
1993	99,88	132,25	158,53	129,18	176,67	316,39	336,93	304,05	80,19	31,94	34,46	56,31	1856,77
1994	81,05	117,26	152,72	166,48	156,99	120,68	125,27	122,82	28,16	33,63	49,90	49,79	1204,75
1995	69,27	108,05	123,38	271,11	165,12	256,41	345,61	138,98	62,48	68,66	49,65	71,25	1729,97
1996	93,81	167,26	186,44	206,07	259,30	226,59	401,44	242,98	113,37	69,48	71,47	102,20	2140,41
1997	110,13	114,31	166,85	239,31	152,80	81,39	509,72	340,15	146,85	68,57	97,97	98,11	2126,17
1998	155,63	197,13	404,28	220,00	394,64	220,58	502,23	606,33	244,62	83,00	66,61	91,64	3186,70
1999	129,58	161,47	215,55	183,05	404,40	394,80	448,22	136,19	113,29	85,65	97,36	114,97	2484,54
2000	148,11	168,33	202,75	184,71	182,64	213,87	492,80	233,64	140,08	75,55	71,52	94,06	2208,06
2001	118,31	127,99	152,02	162,37	151,29	94,94	105,89	173,39	78,06	65,09	59,63	68,15	1357,13
2002	91,65	135,76	397,49	273,47	271,56	265,29	589,39	241,06	120,24	113,48	97,96	132,84	2730,20
2003	156,85	176,30	186,79	219,47	223,90	118,06	328,32	169,95	103,13	93,56	103,88	125,22	2005,43
2004	148,87	169,20	190,42	218,17	250,08	152,31	320,55	183,88	127,58	103,93	99,68	114,30	2078,96
2005	117,44	117,10	147,14	176,33	163,27	241,36	251,43	188,89	175,09	112,30	95,27	128,44	1914,07
2006	140,09	155,20	164,11	160,22	212,45	291,33	179,62	119,85	82,27	73,95	54,90	90,50	1724,49
2007	138,25	125,30	162,61	137,58	158,93	93,20	92,71	116,09	84,32	54,40	54,09	65,03	1282,51
2008	76,42	116,85	201,97	117,42	108,11	197,65	171,37	116,72	73,59	40,09	32,94	48,76	1301,88
2009	95,51	124,51	139,76	199,43	308,36	246,27	364,30	258,14	111,67	89,58	82,54	113,31	2133,39
2010	133,30	157,28	241,63	251,06	446,81	232,24	224,69	158,94	128,78	70,39	91,88	120,79	2257,80
2011	191,58	166,96	283,47	235,30	183,88	220,90	366,58	309,46	258,74	123,63	99,94	132,78	2573,23
2012	186,16	193,62	221,90	222,90	235,86	373,58	416,21	254,43	149,14	126,02	126,36	128,56	2634,74
ORT.	125,75	158,69	227,30	226,57	264,34	295,48	376,06	248,90	125,58	71,51	68,38	96,00	2284,56



Şekil 4.14. Sarıyar Barajına gelen aylık ortalama akımlar (10⁶/m³/ay)

Tablo 4.12. Gökçekaya Barajına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (hm³) (DSİ, 2012)

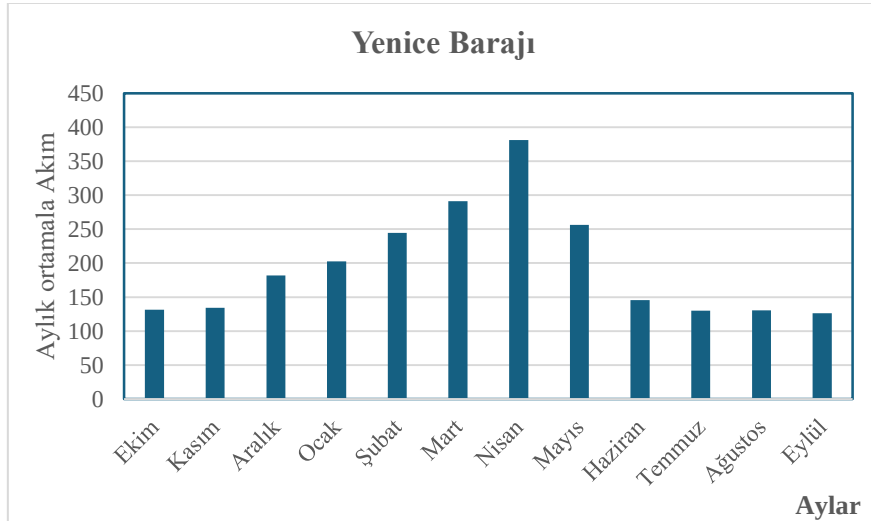
Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1974	122,27	119,33	138,39	127,77	191,11	387,14	185,00	360,37	121,15	121,74	132,35	125,01	2151,62
1975	130,57	129,57	135,18	140,98	139,11	275,64	520,41	742,73	154,98	123,82	124,88	122,90	2740,79
1976	129,55	127,30	132,27	136,60	130,41	346,50	476,85	213,01	120,50	123,08	125,53	123,88	2185,47
1977	130,42	127,49	132,99	129,41	241,51	238,07	236,87	132,54	117,67	122,31	124,42	123,09	1856,78
1978	129,55	126,40	132,22	143,36	528,67	514,61	595,93	284,27	120,95	121,80	124,37	124,53	2946,66
1979	130,59	125,87	210,13	747,65	701,26	300,04	236,12	259,23	235,12	122,43	123,44	123,05	3314,91
1980	125,96	178,01	291,08	294,01	323,54	672,05	664,68	407,32	120,75	122,42	123,99	122,48	3446,29
1981	127,11	123,65	331,39	504,07	472,71	1.046,89	560,39	393,25	129,62	126,16	123,42	121,41	4060,09
1982	130,48	314,14	738,50	444,77	306,33	333,33	526,67	274,09	177,78	126,23	125,02	122,79	3640,13
1983	129,57	124,25	127,49	127,19	146,59	333,38	395,75	130,90	180,14	121,29	121,67	119,73	2057,96
1984	126,11	131,38	373,61	292,58	340,82	514,60	799,93	585,71	139,47	123,00	123,63	120,34	3671,19
1985	124,46	155,15	174,46	230,18	266,32	372,01	486,82	181,51	129,64	121,58	122,72	120,84	2485,71
1986	127,09	124,61	129,37	291,77	457,11	318,66	175,38	146,25	127,92	120,50	122,46	121,56	2262,67
1987	127,83	125,42	130,78	200,03	433,48	264,66	609,36	377,89	147,83	124,46	124,40	122,76	2788,91
1988	152,28	119,15	127,06	124,30	115,62	256,11	496,94	193,63	190,85	124,98	124,74	120,60	2146,26
1989	125,50	121,83	283,86	171,01	168,04	227,09	122,36	124,27	123,27	126,19	127,27	122,67	1843,37
1990	127,83	122,91	145,27	215,03	198,26	291,35	409,12	282,08	125,91	126,20	125,71	122,74	2291,91
1991	126,28	121,79	126,47	124,09	113,98	138,47	183,05	178,54	153,44	123,68	128,25	121,74	1639,79
1992	127,27	122,07	125,66	124,36	115,63	228,41	750,37	181,73	128,36	126,82	125,21	120,98	2276,86
1993	127,91	123,59	128,48	127,87	119,59	219,42	360,12	320,86	126,92	125,66	127,77	122,56	2030,75
1994	128,44	125,06	129,68	129,42	117,15	130,93	127,30	132,24	124,84	131,78	133,93	130,89	1541,67
1995	138,98	136,16	140,60	144,74	128,46	156,44	155,31	139,46	126,21	131,90	130,75	127,56	1656,56
1996	133,07	129,38	131,73	134,78	132,57	142,15	349,93	253,91	123,84	125,02	125,07	122,05	1903,49
1997	126,75	122,09	126,27	128,95	153,05	130,10	534,22	364,46	150,64	123,65	125,73	119,17	2205,07
1998	127,33	123,27	418,28	246,91	457,84	256,34	532,76	653,25	269,46	128,90	125,23	122,32	3461,90
1999	126,89	121,70	125,04	188,33	425,47	443,64	487,46	147,87	127,45	130,20	125,02	121,10	2570,15
2000	124,56	119,72	184,25	189,85	189,55	229,43	521,68	250,63	141,02	124,69	124,23	119,40	2319,02
2001	124,77	119,95	123,85	123,12	110,74	121,44	117,76	120,94	117,90	123,50	127,08	120,01	1451,07
2002	124,29	120,35	143,41	296,47	289,32	288,95	633,27	261,46	127,79	131,45	125,66	122,45	2664,90
2003	124,65	169,74	191,79	225,98	237,34	130,06	339,64	176,60	119,82	123,31	123,30	118,49	2080,71
2004	122,88	118,12	188,02	230,90	269,68	200,33	333,70	189,75	127,53	124,16	124,79	120,51	2150,37
2005	122,91	119,30	122,47	134,19	166,85	266,09	262,24	208,79	185,70	125,03	123,64	118,62	1955,83
2006	122,69	125,40	168,03	164,64	222,68	324,38	206,07	130,03	121,37	125,92	124,87	122,35	1958,44
2007	126,70	122,21	124,52	124,05	111,39	124,84	126,47	126,86	123,59	126,86	128,68	123,86	1490,04
2008	129,96	126,89	131,68	128,72	120,44	134,97	128,42	128,74	125,30	131,52	133,82	131,68	1552,16
2009	140,27	136,78	141,33	144,85	184,78	240,42	194,28	176,24	127,35	126,51	124,10	120,81	1857,71
2010	124,45	121,21	184,26	261,71	488,21	284,63	262,32	172,44	134,65	126,31	123,20	118,93	2402,33
2011	130,09	136,14	295,59	253,31	198,36	240,83	399,57	338,68	281,14	130,78	125,19	119,54	2649,23
2012	160,17	199,06	229,41	230,55	246,96	415,06	472,08	272,80	151,16	123,84	122,96	117,03	2741,09
ORT.	129,19	134,78	190,64	209,70	250,28	296,40	384,02	256,80	145,62	125,38	125,60	122,10	2370,51



Şekil 4.15. Gökçekaya Barajına gelen aylık ortalama akımlar (10⁶m³/ay)

Tablo 4.13. Yenice Barajına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (hm³) (DSİ, 2012)

Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1974	129,07	125,26	144,61	128,90	189,98	387,14	183,98	358,49	124,88	129,51	129,84	125,76	2157,43
1975	130,05	125,77	129,72	129,27	137,35	275,64	519,40	740,86	152,16	129,10	129,55	125,72	2724,59
1976	130,09	125,90	130,00	129,76	120,99	342,35	475,83	211,14	124,89	129,51	129,99	126,14	2176,59
1977	130,50	126,29	130,39	130,35	213,23	238,07	235,86	130,67	124,97	129,69	130,24	126,45	1846,69
1978	130,89	126,74	130,94	130,54	503,75	514,61	594,92	282,40	124,88	129,52	130,07	126,23	2925,51
1979	130,58	126,41	177,03	747,65	701,26	300,04	235,11	257,35	232,30	129,14	129,67	125,88	3292,43
1980	130,37	147,07	291,08	294,01	323,54	672,05	663,66	405,45	124,89	129,51	130,05	126,29	3437,98
1981	130,80	126,80	289,96	504,07	472,71	1.046,89	559,38	391,38	126,81	129,04	129,46	125,70	4033,02
1982	130,09	290,53	738,50	444,77	306,33	353,33	525,65	272,22	174,96	129,04	129,42	125,58	3620,43
1983	129,94	125,82	130,14	130,30	118,11	333,38	394,74	129,03	177,33	129,17	129,78	126,14	2053,87
1984	130,75	126,55	340,68	292,58	340,82	514,60	798,91	583,83	136,66	129,12	129,63	125,90	3650,06
1985	130,52	125,71	169,40	230,18	266,32	372,01	485,81	179,64	126,83	129,16	129,74	126,03	2471,35
1986	130,57	126,53	130,85	254,38	457,11	318,66	174,36	144,37	125,11	129,19	129,80	126,09	2247,02
1987	130,59	126,51	130,76	164,90	433,48	264,66	608,35	376,02	145,01	129,09	129,53	125,71	2764,61
1988	129,47	124,89	129,26	129,45	121,37	236,59	495,93	191,76	188,03	129,07	129,49	125,72	2131,04
1989	130,28	126,36	249,82	171,01	168,04	227,09	124,80	129,23	125,35	129,85	130,23	126,37	1838,43
1990	130,87	126,87	130,80	186,38	198,26	291,35	408,11	280,21	124,75	129,13	129,49	125,65	2261,88
1991	130,13	126,19	130,63	130,94	118,57	131,19	142,91	176,67	150,63	129,11	129,47	125,58	1622,01
1992	130,03	126,04	130,49	130,81	122,73	182,03	749,35	179,85	125,55	129,02	129,38	125,58	2260,88
1993	130,04	126,00	130,31	130,44	117,84	190,47	359,11	318,99	124,73	129,09	129,41	125,51	2011,92
1994	129,90	125,79	130,01	130,04	117,48	130,05	125,82	129,99	125,88	130,24	130,30	126,03	1531,52
1995	129,94	125,27	134,99	144,74	128,46	156,44	154,30	137,58	124,74	128,96	129,03	124,91	1619,36
1996	128,99	128,56	131,73	134,78	132,57	142,15	348,91	252,04	124,81	129,27	129,70	125,89	1909,39
1997	130,39	126,43	130,89	131,09	117,55	129,18	527,64	362,58	147,82	129,11	129,54	125,78	2188,01
1998	130,34	126,33	385,57	246,91	457,84	256,34	531,75	651,38	266,65	128,97	129,27	125,43	3436,76
1999	129,86	125,89	130,35	157,83	425,47	443,64	486,45	146,00	124,71	128,94	129,20	125,40	2553,74
2000	129,93	126,08	154,40	189,85	189,55	229,43	520,67	248,76	138,20	129,08	129,52	125,80	2311,28
2001	130,42	126,58	131,19	131,65	119,35	132,73	129,15	134,30	130,90	136,29	137,31	133,87	1573,74
2002	139,46	136,11	141,17	135,42	257,41	288,95	632,26	259,59	124,98	128,90	129,11	125,26	2498,61
2003	129,73	150,12	191,79	225,98	237,34	130,06	338,62	174,72	124,91	129,54	130,08	126,44	2089,35
2004	131,22	127,50	130,77	230,90	269,68	200,33	332,68	187,87	124,71	129,09	129,54	125,77	2120,07
2005	130,41	126,64	131,32	131,49	120,16	266,09	261,22	206,92	182,89	129,07	129,52	125,83	1941,56
2006	130,54	126,61	131,08	164,64	222,68	324,38	205,06	128,89	124,91	129,43	129,84	126,04	1944,09
2007	130,55	126,59	131,12	131,52	119,18	132,40	128,44	133,05	129,24	134,14	134,77	130,99	1561,98
2008	135,87	131,87	136,60	137,06	128,76	138,03	133,90	139,01	135,36	140,82	141,72	137,87	1636,87
2009	142,93	138,52	143,01	143,28	127,33	135,27	135,66	174,36	124,72	129,04	129,44	125,68	1649,24
2010	130,25	126,38	149,58	261,71	488,21	284,63	261,30	170,57	131,83	129,04	129,46	125,77	2388,74
2011	130,26	125,81	279,17	253,31	198,36	240,83	398,55	336,81	278,33	128,92	129,16	125,40	2624,90
2012	141,37	199,06	229,41	230,55	246,96	415,06	471,06	270,93	148,34	129,10	129,60	125,98	2737,44
ORT.	131,23	134,21	181,78	202,65	244,52	291,00	381,02	256,02	145,50	129,82	130,27	126,47	2354,98



Şekil 4.16. Yenice Barajına gelen aylık ortalama akımlar (10⁶/m³/ay)

5. ELDE EDİLEN SONUÇLAR

5.1. Yapay Sinir Ağları (YSA) Modeli Kullanılarak Üretilen Akımların Tahmin Edilmesi

YSA Modeli kullanılarak 2012-2030 yılları arası için üretilen tahmini aylık düzeyde ortalama debi değerleri Tablo 5.1’den başlayarak Tablo 5.5’ e kadar verilmiştir.

Tablo 5.1. Gürsöğüt Barajına havzasından gelecek tahmini ay bazında ortalama debi değerleri (hm³)

Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
2013	105,82	104,27	100,8	104,24	95,33	94,44	93,03	99,33	82,92	76,85	75,54	89,18	1121,75
2014	94,87	104,29	105,68	104,28	106,21	115,83	137,87	120,23	137,87	98,81	78,76	87,56	1292,26
2015	92,19	105,8	107,89	116,89	137,87	137,87	137,87	137,87	104,28	95,61	90,15	93,13	1357,42
2016	104,88	120,84	116,23	137,87	116,55	137,87	107,86	104,6	89,02	75,37	88,74	94,97	1294,8
2017	105,47	115,58	112,07	137,87	137,87	197,63	137,87	137,87	99,01	85,09	87,83	103,11	1457,27
2018	120,03	137,87	135,14	120,07	135,32	135,29	121,29	137,87	107,05	107,99	103,76	118,89	1480,57
2019	118,26	137,87	137,87	137,87	136,77	135,37	135,02	137,87	137,87	103,37	104,41	119,21	1541,76
2020	137,87	137,87	137,87	137,87	182,82	136,11	153,87	137,87	137,87	104,19	107,15	119,85	1631,21
2021	137,87	136,28	137,87	137,87	137,87	137,87	118,74	137,87	109,31	104,31	92,83	104,19	1492,88
2022	107,97	120,1	120,36	118,07	127,04	137,87	119,48	137,87	95,75	98,29	87,26	99,14	1369,2
2023	105,81	134,43	119,61	137,87	137,87	117,53	187,14	182,38	191,12	117,9	115,54	121,52	1668,72
2024	122,88	122,16	137,87	119,63	137,87	137,87	137,87	137,87	101,33	92,2	96,48	104,16	1448,19
2025	108,33	120,27	137,87	137,87	137,87	137,87	115,9	105,26	88,45	90,33	85,12	86,9	1352,04
2026	104,26	107,96	118,88	137,87	137,87	135,29	137,87	137,87	106,56	87,62	79,05	92	1383,1
2027	104,17	119,99	120,5	121,08	120,4	137,87	137,87	137,87	104,32	94,19	90,08	93,53	1381,87
2028	112,72	130,7	137,87	123,65	109,17	104,65	94,54	86,79	79,42	76,82	74,87	87,73	1218,93
2029	96,91	119,49	116,35	120,63	111,39	121,76	109,56	107,21	99,71	76,29	77,15	84,71	1241,16
2030	92,17	108,18	107,62	117,62	105,49	118,98	104,46	105,5	83,53	75,26	73,55	82,32	1174,68
ORT.	109,58222	121,33056	122,68611	126,06222	128,42111	132,10944	127,11722	127,22222	108,63278	92,249444	89,348333	99,005556	1383,7672

Tablo 5.2. Kargı Barajına havzasından gelecek tahmini ay bazında ortalama debi değerleri (hm³)

Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
2013	102,83	98,29	93,53	94,89	90,57	91,68	90,48	90,76	90,78	91,77	91,65	91,34	1118,57
2014	91,72	91,38	91,68	92,18	94,85	104,89	159,92	114,1	136,28	95,51	91,78	91,51	1255,8
2015	91,91	90,97	95,16	106,41	130,77	174,48	136,51	136,02	107,2	91,04	91,83	91,62	1343,92
2016	94,68	107,74	110,56	135,79	112,52	136,2	108,34	108,3	91,19	91,75	91,67	91,45	1280,19
2017	91,91	94,38	101,38	127,35	128,67	148,23	128,69	136,04	102,58	91,46	91,81	91,02	1333,52
2018	111,59	130,37	166,45	149,98	161,88	162,97	135,29	135,29	109,47	110,77	91,26	114,79	1580,11
2019	120,68	127,25	129,06	128,93	126,65	153,35	166,16	128,39	134,53	92,73	94,71	113,46	1515,9
2020	116,08	137,47	127,5	127,64	192,93	117,7	182,65	127,61	128,07	95,53	104,02	113,69	1570,89
2021	135,76	121,11	137,26	134,71	127,12	109,24	135,05	127,72	111,99	102,79	91,89	94,28	1428,92
2022	103,09	111,36	114,82	113,04	128,17	136,24	113,65	135,91	90,54	96,96	91,9	91,7	1327,38
2023	101,19	115,51	130,24	129,08	106,36	173,71	196,87	145,45	157,97	111,73	110,78	115,01	1593,9
2024	120,38	132,37	135,98	135,31	128,74	109,5	135,55	171,15	94,78	92,42	91,92	93,87	1441,97
2025	105,54	112,74	136,22	137,13	137,18	129,35	112	101,23	90,76	92,21	91,8	91,55	1337,71
2026	91,96	96,15	118,59	135,48	154,77	162,72	136,96	128,62	112,33	90,46	91,77	91,52	1411,33
2027	91,94	108,94	103,14	115,57	135,37	176,33	135,77	157,77	106,56	98,86	91,82	91,62	1413,69
2028	108,91	111,03	128,33	126,77	109,99	100,65	90,62	91,51	91,7	91,79	91,65	91,36	1234,31
2029	91,75	91,22	102,15	99,79	111,06	120,18	109,81	108,54	100,4	91,79	91,67	91,37	1209,73
2030	91,75	91,44	90,47	97,56	96	113,43	99,31	102,97	93,36	91,75	91,59	91,24	1150,87
ORT.	103,53722	109,42889	117,36222	121,53389	126,31111	134,49167	131,86833	124,85444	108,36056	95,62889	93,64	96,8	1363,8172

Tablo 5.3. Sarıyar Barajına havzasından gelecek tahmini ay bazında ortalama debi değerleri (hm³)

Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
2013	96,24	132,75	126,33	163,7	219,97	163,19	208,3	123,53	171,56	74,91	70,43	82,32	1633,23
2014	104,03	122,82	143,74	163,53	203,41	207,35	287,84	203,4	282,87	109,7	79,77	89,58	1998,04
2015	113,77	137,3	153,56	169,41	199,51	201,46	198,66	201,69	127,93	90,28	80,54	96,45	1770,56
2016	110,43	165,77	136,7	197,79	170,99	197,07	167,08	137,24	101,39	76,17	95,91	102,5	1659,04
2017	124,61	130,72	155,2	252,59	204,62	278,74	327,53	203,82	161,92	90,82	93,53	107,74	2131,84
2018	134,61	219,64	192,64	229,5	229,52	193,39	204,7	208,21	159,26	151,43	110,62	128,39	2161,91
2019	169,28	205,5	213,1	198,91	192,57	331,79	229,5	308,36	200,82	105,49	108,12	126,97	2390,41
2020	155,23	209,4	202,85	245,21	277,57	242,59	271,47	204,99	220,19	118,27	127,4	134,32	2409,49
2021	193,56	193,37	210,86	229,52	311,92	241,69	197,29	205,92	162,11	129,02	102,39	115,38	2293,03
2022	134,94	140,03	156	151,78	207,73	203,34	192,64	200,09	120,59	131,15	117,1	110,91	1866,3
2023	163,68	220,19	216,41	205,87	303,47	235,71	229,51	194,13	205,46	134,83	127,02	128,61	2364,89
2024	146,51	142,54	174,72	184,71	199,14	209,93	204,83	197,94	127,32	110,65	93,27	103,06	1894,62
2025	127,88	145,77	205,12	199,77	203,87	198,71	198,18	150,97	110,19	103,88	87,77	93,35	1825,46
2026	116,58	132,5	215,69	198,88	197,61	229,52	197,52	294,89	184,92	112,44	84,89	102,66	2068,1
2027	121,74	158,49	152,67	164,92	186,78	199,6	213,04	203,4	130,62	128,54	102,64	109,37	1871,81
2028	156,41	196,01	172,82	219,61	170,96	121,39	157,02	98,56	105,15	97,26	97,54	113,26	1705,99
2029	146,19	191,4	182,52	219,45	219,19	198,83	204,85	220,01	159,02	96,69	97,49	104,93	2040,57
2030	125,05	150,06	134,93	167,41	152,08	164,75	166,99	159,09	119,73	110,27	89,61	100,68	1640,65
ORT.	135,5967	166,3478	174,77	197,92	213,9394	212,1694	214,275	195,3467	158,3917	109,5444	98,11333	108,36	1984,774

Tablo 5.4. Gökçekaya Barajına havzasından gelecek tahmini ay bazında ortalama debi değerleri (hm³)

Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
2013	128,49	130,26	128,87	127,77	132,24	139,27	147,73	160,6	140,37	136,12	128,77	130,82	1631,31
2014	130,63	132,89	133,86	134,62	204,34	180,5	275,28	213,24	264,52	135,75	129,04	130,6	2065,27
2015	129,74	132,09	132,51	132,27	218,82	196,95	237,96	210,13	160,33	128,9	129,08	130,9	1939,68
2016	129,98	132,42	131,1	195,78	189,3	216,36	192,43	176,4	130,68	128,1	128,77	130,5	1881,82
2017	129,6	132,08	133,7	183,43	177,19	241,62	282,58	231,24	202,8	128,75	128,96	130,71	2102,66
2018	129,78	163,51	257,43	172,08	286,52	216,05	237,94	212,8	198,85	180,4	128,79	129,58	2313,73
2019	140,12	204,4	213,11	186,8	202,24	192,45	290,55	255,36	236,33	128,64	128,67	129,92	2308,59
2020	128,92	210,53	165,99	299,5	331,36	284,61	335,41	219,98	235,66	130,32	129,21	130,49	2601,98
2021	207,11	262,31	246,92	286,17	280,02	298,3	166,47	226,05	201,95	140,49	129,5	130,63	2575,92
2022	129,1	131,13	129,99	134,57	210,87	237,11	211,47	235,97	130,14	140,28	127,88	129,25	1947,76
2023	129,93	227,42	205,41	230,22	307,23	244,2	237	215,12	227,83	132,35	128,35	129,31	2414,37
2024	134,86	139,67	199,75	207,87	203,68	245,09	237,66	184,08	140,55	130,18	128,17	129,66	2081,22
2025	128,78	131,01	204,3	224,5	192,73	158,25	211,58	140,59	133,09	129,78	128,09	129,76	1912,46
2026	129,09	131,44	153,33	238,19	211,54	285,93	150,24	246,38	228,78	134,2	129,14	135,1	2173,36
2027	128,06	135,64	128,38	128,22	198,41	189,83	209,19	218,99	148,79	146,78	128,81	129,75	1890,85
2028	128,17	203,28	138,39	209,5	201,63	137,88	173,23	128,82	129,79	129,81	129,47	130,73	1840,7
2029	128,81	134,38	161,53	165,56	230,87	196,78	236,82	236,67	203,12	130,03	129,38	130,1	2084,05
2030	126,67	135,91	129,11	171,37	235,13	196,64	243,3	141,19	218,3	130,41	129,04	132,32	1989,39
ORT.	127,1861	152,2283	159,1561	183,3694	215,66	206,5861	218,2839	194,0561	177,3061	128,065	121,6861	123,295	2006,878

Tablo 5.5. Yenice Barajına havzasından gelecek tahmini ay bazında ortalama akım değerleri (hm³)

Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
2013	128,74	131,29	130,25	127,98	131,69	131,5	160,95	149,33	159,26	138,46	129,55	130,93	1649,93
2014	128,65	131,01	129,65	133,1	188,87	161,68	376,76	196,14	254,23	139,75	129,59	130,97	2100,4
2015	128,67	131,1	129,83	128,49	216,19	202,71	218,92	199,22	178,42	129,61	129,83	131,21	1924,2
2016	128,9	131,33	130,11	178,99	182,9	200,86	182,95	181,74	131,18	129,7	129,97	131,4	1840,03
2017	129,12	131,6	130,3	163,85	155,17	232,56	330,87	222,05	188,95	129,63	129,86	131,26	2075,22
2018	128,97	160,75	237,2	212,46	287,02	246,98	218,39	211,79	185,67	181,92	129,65	131,09	2331,89
2019	134,78	188,9	197,57	186,21	191,38	197,39	214,05	308,01	221,46	129,62	129,87	131,32	2230,56
2020	129,09	188,9	168,16	197,94	359,97	368,75	360,13	206,37	229,43	130,01	129,57	130,95	2599,27
2021	188,92	254,52	261,94	306,64	333,8	269,76	174,16	213,11	188,13	158,13	129,53	130,89	2609,53
2022	128,61	131,1	129,96	127,71	208,3	250,02	207,11	216,4	130,56	160,34	129,73	131,23	1951,07
2023	128,98	215,55	188,91	204,06	339,22	248,35	232,3	246,57	218,86	132,88	129,65	131,12	2416,45
2024	128,67	154,51	180,99	195,14	197,87	279,99	219,17	188,09	161,71	130,09	129,7	131,16	2097,09
2025	128,94	131,48	184,81	210,64	216,26	167,48	207,7	154,15	134,96	129,62	129,72	131,19	1926,95
2026	128,95	131,46	147,61	217,46	191,66	326,87	157,11	263,72	264,66	135,24	129,58	130,79	2225,11
2027	128,38	130,71	129,45	128,39	182,54	183,46	190,98	205,27	169,95	168,08	129,58	131,01	1877,8
2028	128,81	184,69	152,44	188,91	187,49	148,77	181,05	128,25	130,81	129,81	129,99	131,39	1822,41
2029	129,14	131,55	165,29	174,15	221,62	194	216,46	221,79	188,96	129,43	129,58	130,97	2032,94
2030	129,98	134,99	129,4	176,68	240,56	183,75	309,71	161,76	239,31	129,56	129,72	131,04	2096,46
ORT.	132,57222	155,30222	162,43722	181,04444	224,02833	221,93778	231,04278	204,09778	187,58389	139,54889	129,70389	131,10667	2100,4061

5.2. Tahmini Durum İçin Modelden Elde Edilen Uzun Süreli Optimal İşletme Sonuçları

Her baraj için elde edilen tahmini ay bazında ortalama debiler Tablo 5.6'dan başlayarak Tablo 5.10 'a kadar gösterilmiştir.

Tablo 5.6. YSA modeli ile elde edilen tahmini kurak dönem aylık değerleri

F (10 ⁷ m ³ /ay)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Gürsöğüt	11	10	10	10	10	9	9	10	8	8	8	9
Kargı	10	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Sarıyar	10	13	13	16	22	16	21	12	17	7	7	8
Gökçekaya	13	13	13	13	13	14	15	16	14	14	13	13
Yenice	13	13	13	13	13	13	16	15	16	14	13	13

Tablo 5.7. Tahmini kurak dönem aylık değerlerine göre işletme seviyeleri

S (10 ⁷ m ³ /ay)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Gürsöğüt	110	101	91	81	78	87	92	100	105	110	110	109
Kargı	5	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5
Sarıyar	141	122	105	125	141	141	141	141	141	141	140	141
Gökçekaya	95	90	87	94	93	94	95	94	94	94	95	95
Yenice	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6

Tablo 5.8. YSA tahmininde kurak dönem aylık değerlerine göre enerji üretimi için bırakılan su miktarı

Q (10 ⁷ m ³ /ay)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Gürsöğüt	20	20	20	13	1	4	1	5	3	8	9	8
Kargı	31	30	29	22	10	13	9	14	12	17	18	17
Sarıyar	60	60	22	22	32	29	30	26	29	25	24	25
Gökçekaya	78	76	28	36	44	42	46	42	43	38	37	38
Yenice	44	44	42	44	44	44	44	44	44	44	44	44

Tablo 5.9. Tahmini kurak dönem aylık değerlerine göre dolusavaktan bırakılan debi değerleri

R (10 ⁷ m ³ /ay)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Gürsöğüt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kargı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sarıyar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gökçekaya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yenice	47	45	0	4	13	11	18	13	15	8	6	7

Tablo 5.10. Tahmini kurak dönem aylık değerlerine göre aylık güç değerleri

P (MW/ay)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Gürsöğüt	55	52	50	32	2	10	3	14	8	23	25	23
Kargı	78	71	69	52	24	31	23	36	30	43	46	43
Sarıyar	150	144	55	57	84	76	79	68	76	66	63	66
Gökçekaya	215	207	95	122	146	141	152	140	143	129	126	129
Yenice	35	35	34	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Toplam	533	510	303	298	291	294	292	293	293	296	295	296

YSA tahmininde kurak dönem aylık değerlerine göre güvenilir güç 292 MW ve ortalama güç 333 MW olarak elde edilmiştir. Buna göre tahmini aylık değerler Tablo 5.11’den başlayarak Tablo 5.15’e kadar gösterilmiştir.

Tablo 5.11. YSA modeli ile elde edilen tahmini aylık ortalama debi değerleri

F (10 ⁷ m ³ /ay)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Gürsöğüt	11	12	12	13	13	13	13	13	11	9	9	10
Kargı	10	11	12	12	13	13	13	12	11	10	9	10
Sarıyar	14	17	17	20	21	21	21	20	16	11	10	11
Gökçekaya	13	16	17	19	22	21	23	20	19	14	13	13
Yenice	13	16	16	18	22	22	23	20	19	14	13	13

Tablo 5.12. Tahmini aylık ortalama debi değerlerine göre aylık normal işletme seviyeleri

S (10 ⁷ m ³ /ay)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Gürsöğüt	110	109	110	109	110	109	110	109	110	110	109	110
Kargı	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5
Sarıyar	141	140	141	140	141	140	141	140	141	140	141	140
Gökçekaya	95	94	95	94	95	94	95	94	95	95	94	95
Yenice	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Tablo 5.13. Tahmini aylık ortalama debi değerlerine göre enerji üretimi için bırakılan su miktarı

Q (10 ⁷ m ³ /ay)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Gürsöğüt	12	11	13	12	14	12	14	12	11	10	8	10
Kargı	23	21	25	25	26	25	28	23	22	21	16	20
Sarıyar	38	37	43	44	48	45	50	42	39	31	27	30
Gökçekaya	52	52	61	62	71	65	74	61	58	46	39	43
Yenice	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44

Tablo 5.14. Tahmini aylık ortalama debi değerlerine göre dolusavaktan bırakılan debi değerleri

R (10 ⁷ m ³ /ay)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Gürsöğüt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kargı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sarıyar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gökçekaya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yenice	21	24	33	36	49	43	53	37	33	16	8	12

Tablo 5.15. Tahmini aylık ortalama debi değerlerine göre aylık güç değerleri

P (MW/ay)	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Gürsöğüt	31	37	34	39	34	39	34	31	28	23	28	31
Kargı	53	63	63	66	63	70	58	56	53	41	51	53
Sarıyar	97	112	114	124	117	129	109	102	81	71	79	97
Gökçekaya	168	189	191	207	197	212	189	182	152	132	143	168
Yenice	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Toplam	384	435	437	472	446	486	425	406	350	301	336	384

Sonuç olarak, YSA tahmininde aylık ortalama debi değerlerine göre eniyilenmiş güvenilir güç 301 MW ve ortalama güç 406 MW olarak elde edilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, enerji üretim hedefli biriktirme tesisleri içeren bir su membaları sistemi tanımlanmıştır. Sistem tanımlandıktan sonra, Opan (2007) tarafından geliştirilen iki aşamalı bir optimizasyon modeli (OPAN) bu sisteme uygulanmıştır. Uygulama bölgesi olarak Sakarya Havzası'nın Orta Sakarya Havzası seçilmiştir. Bu havzadaki barajlar enerji üretim amacıyla kullanılmakta olup, su biriktirme kapasitelerine sahiptir. Havzaya ait 1974-2012 yılları arasındaki aylık ortalama akım verileri mevcut bulunmaktadır. Bu veriler, zaman serili yapay sinir ağları modeli kullanılarak gelecekteki 18 yıla ait aylık ortalama akımların tahmininde kullanılmıştır. Tahmin edilen akımlar incelendiğinde, 1974-2012 yıllarına ait minimum, ortalama ve maksimum değerlere uygunluk gösterdiği görülmüştür. Tahmin edilen akımlardan kurak dönem ve aylık ortalama akımlar belirlenmiştir. Tahmini kurak dönem akımları kullanılarak aylık asgari işletme seviyeleri elde edilmiş olup, güvenilir güç/enerji belirlenmiştir. Güvenilir güç modelde kısıt olarak kullanılarak tahmini ay bazında ortalama debilerle toplam enerjinin enbüyüklenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu esnada, kısıt olarak kullanılan güvenilir güç eniyilenmiştir. Barajlardan bırakılan akımlar incelendiğinde, dolu savağın son baraj hariç tercih edilmediği görülmüştür. Eğer son barajın biriktirme kapasitesi büyük olsaydı, bu barajda da dolusavaktan bırakılan akım olmayabilirdi veya sisteme yeni bir baraj eklenebilirdi. İşletme düzeyleri incelendiğinde, büyük hacimli barajların salınım yaparak optimizasyon sürecini yönlendirdiği gözlemlenmiştir. Zaman serili yapay sinir ağları modeli ile birlikte iklim değişikliği de ele alınarak veriler üretilip enerji planlaması yapılabilir. Ayrıca, riskli su yönetimi üzerine de çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdollahi, A., Ahmadianfar, I. (2021). Multi-Mechanism Ensemble Interior Search Algorithm to Derive Optimal Hedging Rule Curves in Multi-Reservoir Systems. *Journal of Hydrology*, 598.
- Afshar, M. (2013). Extension of the Constrained Particle Swarm Optimization Algorithm to Optimal Operation of Multi-Reservoirs System. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 51, 71-81.
- Agatonovic-Kustrin, S., Beresford, R. (2000). Basic Concepts of Artificial Neural Network (ANN) Modeling and Its Application in Pharmaceutical Research. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 22(5), 717-727.
- Ahmadianfar, I., Bozorg-Haddad, O., Chu, X. (2020). Gradient-Based Optimizer: A New Metaheuristic Optimization Algorithm. *Information Sciences*, 540, 131-159.
- Ahmadianfar, I., Heidari, A., Gandomi, A., Chu, X., Chen, H. (2021). Run Beyond the Metaphor: An Efficient Optimization Algorithm Based on Runge Kutta Method. *Expert Systems With Applications*, 181.
- Ahmadianfar, I., Khajeh, Z., Asghari-Pari, S.A., Chu, X. (2019). Developing Optimal Policies for Reservoir Systems Using a Multi-Strategy Optimization Algorithm. *Applied Soft Computing*, 80, 888-903.
- Ahmadianfar, I., Noshadian, S., Elagip, N., Salarijazi, M. (2021). Robust Diversity-Based Sine-Cosine Algorithm for Optimizing Hydropower Multi-Reservoir Systems. *Water Resources Management*, 35(11), 3513-3538.
- Ahmadianfar, I., Samadi-Koucheksaraee, A., Bozorg-Haddad, O. (2017). Extracting Optimal Policies of Hydropower Multi-Reservoir Systems Utilizing Enhanced Differential Evolution Algorithm. *Water Resources Management*, 31(14), 4375-4397.
- Al-Janabi, A. (2018). Orta Sakarya Nehri Üzerindeki Çoklu Barajların Yönetimi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 531464.
- Allawi, M., Binti Othman, F., Afan, H., Ahmed, A., Hossain, M., Fai, C., & El-Shafie, A. (2019). Reservoir Evaporation Prediction Modeling Based on Artificial Intelligence Methods. *Water*, 11(6).
- Alotaibi, K., Ghumman, A., Haider, H., Ghazaw, Y., Shafiquzzaman, M. (2018). Future Predictions of Rainfall and Temperature Using GCM and ANN For Arid Regions: A Case Study For The Qassim Region, Saudi Arabia. *Water*, 10(9).
- Araghinejad, S. (2013). *Data-Driven Modeling: Using MATLAB® in Water Resources and Environmental Engineering*. (67th ed.). Springer Science and Business Media, ABD: Springer Nature.

- Azamathulla, H., Wu, F., Ab Ghani, A., Narulkar, S., Zakaria, N., Chang, C. (2008). Comparison Between Genetic Algorithm and Linear Programming Approach for Real Time Operation. *Journal of Hydro-Environment Research*, 2(3), 172-181.
- Azizipour, M., Afshar, M. (2018). Reliability-Based Operation of Reservoirs: A Hybrid Genetic Algorithm and Cellular Automata Method. *Soft Computing*, 22, 6461-6471.
- Banihabib, M., Chitsaz, N., Randhir, T. (2020). Non-Compensatory Decision Model for Incorporating the Sustainable Development Criteria in Flood Risk Management Plans. *SN Applied Sciences*, 2, 1-11.
- Chong, K., Lai, S., Ahmed, A., Jaafar, W., Rao, R., Sherif, M., Sefelnasr, A., El-Shafie, A. (2021). Review on Dam and Reservoir Optimal Operation for Irrigation and Hydropower Energy Generation Utilizing Meta-Heuristic Algorithms. *IEEE Access*, 9, 19488-19505.
- Dariane, A., Azimi, S. (2018). Streamflow Forecasting by Combining Neural Networks and Fuzzy Models Using Advanced Methods of Input Variable Selection. *Journal of Hydroinformatics*, 20(2), 520-532.
- Dolling, O., Varas, E. (2002). Artificial Neural Networks for Streamflow Prediction. *Journal of Hydraulic Research*, 40(5), 547-554.
- DSİ Genel Müdürlüğü, (2012). Sakarya Havzası Master Planı.
- Fang, Y., Ahmadianfar, I., Samadi-Koucheksaraee, A., Azarsa, R., Scholz, M., Yaseen, Z. (2021). An Accelerated Gradient-Based Optimization Development for Multi-Reservoir Hydropower Systems Optimization. *Energy Reports*, 7, 7854-7877.
- Feng, Z., Liu, S., Niu, W., Liu, Y., Luo, B., Miao, S., Wang, A. (2019). Optimal Operation of Hydropower System by Improved Grey Wolf Optimizer Based on Elite Mutation and Quasi-Oppositional Learning. *IEEE Access*, 7, 155513-155529.
- Feng, Z., Niu, W., Liu, S., Luo, B., Miao, S., Liu, K. (2020). Multiple Hydropower Reservoirs Operation Optimization by Adaptive Mutation Sine Cosine Algorithm Based on Neighborhood Search and Simplex Search Strategies. *Journal of Hydrology*, 590.
- Ghumman, A., Ahmad, S., Hashmi, H. (2018). Performance Assessment of Artificial Neural Networks and Support Vector Regression Models for Stream Flow Predictions. *Environmental Monitoring And Assessment*, 190(12), 704.
- Govindaraju, R., Rao, A. (2013). *Artificial Neural Networks in Hydrology* (36th ed.). Springer Science and Business Media, ABD: Springer Nature.
- Hossain, M., El-Shafie, A. (2013). Intelligent Systems in Optimizing Reservoir Operation Policy: A Review. *Water Resources Management*, 27, 3387-3407.

- Jahandideh-Tehrani, M., Bozorg-Haddad, O., Loáiciga, H. (2021). A Review of Applications of Animal-Inspired Evolutionary Algorithms in Reservoir Operation Modelling. *Water and Environment Journal*, 35(2), 628-646.
- Jiang, Z., Ji, C., Qin, H., Feng, Z. (2018). Multi-Stage Progressive Optimality Algorithm and Its Application in Energy Storage Operation Chart Optimization of Cascade Reservoirs. *Energy*, 148, 309-323.
- Khazaei Poul, A., Shourian, M., Ebrahimi, H. (2019). A Comparative Study of MLR, KNN, ANN and ANFIS Models with Wavelet Transform in Monthly Stream Flow Prediction. *Water Resources Management*, 33, 2907-2923.
- Kiş, O. (2006). Generalized Regression Neural Networks for Evapotranspiration Modelling. *Hydrological Sciences Journal*, 51(6), 1092-1105.
- Li, J., Ameen, A., Mohammad, T., Al-Ansari, N., Yaseen, Z. (2018). A Systematic Operation Program of a Hydropower Plant Based on Minimizing the Principal Stress: Haditha Dam Case Study. *Water*, 10(9), 1-19.
- Li, X., Liu, P., Wang, Y., Yang, Z., Gong, Y., An, R., Huang, K., Wen, Y. (2022). Derivation of Operating Rule Curves for Cascade Hydropower Reservoirs Considering the Spot Market: A Case Study of the China's Qing River Cascade-Reservoir System. *Renewable Energy*, 182, 1028-1038.
- Li, Y., Chao, X. (2020). ANN-Based Continual Classification in Agriculture. *Agriculture*, 10(5).
- Malekian, A., Chitsaz, N. (2021). Concepts, Procedures, and Applications of Artificial Neural Network Models in Streamflow Forecasting. Sharma, P., Machiwal, D., (Ed.). *Advances in Streamflow Forecasting* (115-147).
- McNelis, P. D. (2005). Neural Networks in Finance: Gaining Predictive Edge in The Market. *Academic Press*.
- Mohammad Ashrafi, S. (2021). Two-Stage Metaheuristic Mixed Integer Nonlinear Programming Approach to Extract Optimum Hedging Rules for Multireservoir Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(10).
- Nguyen, H., Bui, X., Bui, H., Mai, N. (2020). A Comparative Study of Artificial Neural Networks in Predicting Blast-Induced Air-Blast Overpressure at Deo Nai Open-Pit Coal Mine, Vietnam. *Neural Computing and Applications*, 32(8), 3939-3955.
- Noori, R., Karbassi, A., Moghaddamnia, A., Han, D., Zokaei-Ashtiani, M., Farokhnia, A., Gousheh, M. (2011). Assessment of Input Variables Determination on the SVM Model Performance Using PCA, Gamma Test, and Forward Selection Techniques for Monthly Stream Flow Prediction. *Journal Of Hydrology*, 401(3-4), 177-189.

- Opan , M. (2007). Çok Barajlı Sistemlerde Çok Amaçlı Optimal İşletme. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 232690.
- Paliwal, V., Ghare, A., Mirajkar, A., Bokde, N., Yaseen, Z. (2021). Proposition of New Metaphor-Less Algorithms for Reservoir Operation. *Complexity*, 2021(1).
- Rani, D., Mourato, S., Moreira, M. (2020). A Generalized Dynamic Programming Modelling Approach for Integrated Reservoir Operation. *Water Resources Management*, 34(4), 1335-1351.
- Rashid, M., Abid, I., Latif, A. (2022). Optimization of Hydropower and Related Benefits Through Cascade Reservoirs for Sustainable Economic Growth. *Renewable Energy*, 185, 241-254.
- Ravansalar, M., Rajaei, T., Kisi, O. (2017). Wavelet-Linear Genetic Programming: A New Approach for Modeling Monthly Streamflow. *Journal Of Hydrology*, 549, 461-475.
- Razavi, S., Tolson, B., Burn, D. (2012). Review of Surrogate Modeling in Water Resources. *Water Resources Research*, 48(7).
- Shoaib, M., Shamseldin, A., Melville, B., Khan, M. (2016). Hybrid Wavelet Neural Network Approach. *Artificial Neural Network Modelling* (127-143).
- Singh, V., Singal, S. (2017). Operation of Hydro Power Plants-A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 610-619.
- Sukor, A., Zakaria, A., Rahim, N., Kamarudin, L., Setchi, R., Nishizaki, H. (2019). A Hybrid Approach of Knowledge-Driven and Data-Driven Reasoning for Activity Recognition in Smart Homes. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 36(5), 4177-4188.
- Toth, E., Brath, A. (2007). Multistep Ahead Streamflow Forecasting: Role of Calibration Data in Conceptual and Neural Network Modeling. *Water Resources Research*, 43(11).
- Tyralis, H., Papacharalampous, G., Langousis, A. (2019). A Brief Review of Random Forests for Water Scientists and Practitioners and Their Recent History in Water Resources. *Water*, 11(5).
- URL-1:<https://www.limak.com.tr/sektorler/enerji/enerji-uretimi/gursogut-baraji>, (Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2024)
- URL-2:<https://www.limak.com.tr/sektorler/enerji/enerji-uretimi/kargi-baraji>, (Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2024)
- URL-3:<https://kulturportali.gov.tr/turkiye/ankara/gezilecekyer/sariyar-baraji>, (Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2024)

URL-4:<https://www.euas.gov.tr/santraller/gokcekaya-hes>,(Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2024)

URL-5:<https://kilicenerji.com.tr/yenice-baraji-ve-hes.html>, (Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2024)

Yang, X. (2009). Artificial Neural Networks. *Handbook Of Research On Geoinformatics* (122-128). IGI Global.

Yaseen, Z., Ehteram, M., Hossain, M., Fai, C., Binti Koting, S., Mohd, N., Binti Jaafar, W., Afan, H., Hin, L., Zaini, N., Ahmed, A., El-Shafie, A. (2019). A Novel Hybrid Evolutionary Data-Intelligence Algorithm for Irrigation and Power Production Management: Application to Multi-Purpose Reservoir Systems. *Sustainability*,11(7).



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Ebrem, M., (2024). Su Kaynakları Sistemine Ait Enerji Üretim Amaçlı Su Biriktirme Tesislerinde Yapay Zekâ Kullanılarak Tahmin Edilen Kurak Dönem Akımları ile Enerji Yönetimi, *Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi*, Kocaeli, 31 Mayıs 2024.



ÖZGEÇMİŞ

İlk öğrenimini Siirt 'de, orta ve lise öğrenimini Yalova'da tamamladı. 2016 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2021 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2021 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.

