

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

**AŞAĞI KIZILIRMAK HAVZASINDA BULUNAN  
ARDIŞIK BARAJLARIN ENERJİ OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fahrettin ALEMDAR**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : HİDROLİK**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Emrah DOĞAN**

**Mayıs 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AŞAĞI KIZILIRMAK HAVZASINDA BULUNAN ARDIŞIK  
BARAJLARIN ENERJİ OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fahrettin ALEMDAR**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : HİDROLİK**

**Bu tez 17/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

**Prof. Dr.  
Emrah DOĞAN  
Jüri Başkanı**

**Dr. Öğr. Üyesi.  
Osman SÖNMEZ  
Üye**

**Prof. Dr.  
Mücahit OPAN  
Üye**



## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Fahrettin ALEMDAR

06.05.2019

## TEŞEKKÜR

Sakarya Üniversitesi yüksek lisans eğitiminin boyunca her zaman bilgi ve birikimlerinden faydalandığım, zorlu eğitim dönemlerinde bana destek olan, benimle tecrübelerini paylaşan, bana yol gösteren, hidrolik alanında kendimi geliştirmemde tüm içtenliğiyle bana yardım eden ve eğitim hayatı dışında da örnek kişiliğiyle dikkat çeken çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Emrah DOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma süresince, bilgisini ve desteğini benden esirgemeyen çok kıymetli hocam Prof. Dr. Mücahit Opan' a teşekkürü bir borç bilirim.

Maddi ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim eşime ve aileme teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	vii
ÖZET .....	viii
SUMMARY.....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Çok Barajlı Su Kaynakları Sisteminde Optimizasyon Kriterleri .....	2
1.2. Uzun Süreli Planlama İçin Optimizasyonu .....	4
1.3. Uygulama Alanı Olarak Aşağı Kızılırmak Havzasındaki Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi.....	4
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	5
BÖLÜM 3.	
ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİNİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ.....	14
3.1. Sistemin Matematiksel Modeli.....	14
3.2. Uzun Süreli Planlama için Ardışık Yaklaşırmalı Dinamik Programlama Modeli .....	17
3.3. YSA İle Akım Verisi Tahmini.....	18
3.3.1. Benzetim modeli .....	18

## BÖLÜM 4.

### AŞAĞI KIZILIRMAK HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU

KAYNAKLARI SİSTEMİ .....	20
4.1. Aşağı Kızılırmak Havzası .....	20
4.2. Yükseklik Hacim İlişkileri .....	24
4.3. Barajlara Gelen Akımlar .....	26

## BÖLÜM 5.

AŞAĞI KIZILIRMAK İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	30
5.1. Uzun Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar .....	30
5.1.1. Güvenilir gücün enbüyüklemesinde modele giren veriler .....	30
5.1.2. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler ..	31
5.1.3. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modele giren veriler .....	34
5.1.4. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler ..	35
5.2.DSİ Yaklaşımından Elde Edilen Sonuçlar.....	38
5.3. Benzetim Modeli Elde Edilen Sonuçlar.....	39

## BÖLÜM 6.

SONUÇ VE ÖNERİLER .....	41
KAYNAKÇA.....	42
EKLER.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	62

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$B_{i,t}$	: i-barajından t-zamandaki buharlaşma kaybı miktarı
DDDP	: Ayrık farksal dinamik programlama
DDP	: Farksal dinamik programlama (Differential dynamic programming)
DDP	: Ayrık dinamik programlama, (Discrete dynamic programming)
DP	: Dinamik programlama, (Dynamic programming)
DPSA	: Ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama
dt	: t-aşaması için karar değişkeni
$F_{i,t}$	: i-barajının havzasından t-zamanda gelen akım miktarı
$h^*_{i,t}$	: i-barajında t-zamandaki ortalama su yüksekliği
$h_{i,t}$	: i-barajında t-zamandaki ortalama net düşü
IDP	: Artırımlı dinamik programlama
iMaks	: i-barajında enerji üretimi için bırakılabilecek maksimum su miktarı
m	: Baraj sayısı
PG	: Güvenilir güç,
dki	: i-barajında tünel çapına ve sürtünme özelliklerine bağlı bir katsayı
$P_{i,t}$	: i-barajında t-zamanda elde edilen ortalama güç
$P_{k,i,t}$	: i-barajından t-zamandaki buharlaşma kaybı miktarı
$Q_{i,t}$	: i-barajından t-zamanda enerji üretimi için bırakılan akım miktarı
$R_{i,t}$	: i-barajında t-zamanda dolu savaktan bırakılan akım miktarı
RiMaks	: i-barajında dolu savaktan bırakılabilecek maksimum su miktarı
$S_{i,t}$	: i-barajında t-zamanında depolanmış su miktarları
$S_{i,tMin}$	: i-barajında t-zamandaki aylık minimum işletme seviyesi
$S_{i,tNor}$	: i-barajında t-zamandaki aylık normal işletme seviyesi
$S_{iMaks}$	: i-barajında depolanan maksimum su miktarı
$S_{iMin}$	: i-barajında depolanan minimum su miktarı
t	: Aşama sayısı, (Zaman)

Ta	: Bilgisayar tipine bağlı bir katsayı
Wi,t	: Akarsu yatağına bırakılması gereken minimum su miktarı
WiMaks	: i-barajında akarsu yatağına bırakılabilecek maksimum su miktarı
X	: Hazneye giren akımlar
Xt	: t-aşamasındaki durum değişkeni
Y	: Hazneden çıkan akımlar
YSA	: Yapay sinir ağları



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Uzun süreli optimal işletme çalışması süreci.....	4
Şekil 3.1. Birbirine seri olarak bağlı çok barajlı su kaynakları sisteminin şematik görünüşü.....	14
Şekil 3.2. Herhangi bir i-barajında t-zamanına ait işletilmesi ile ilgili değişkenleri.....	14
Şekil 4.1. Kızılırmak havzası'nın şematik görünüşü .....	21
Şekil 4.2. Obruk Barajı'nın Görüntüsü .....	22
Şekil 4.3. Boyabat barajı'nın görüntüsü .....	22
Şekil 4.4. Altınkaya Barajı'nın görüntüsü .....	23
Şekil 4.5. Derbent Barajı'nın görüntüsü .....	23
Şekil 4.6. Obruk Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri .....	24
Şekil 4.7. Boyabat Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri ..	25
Şekil 4.8. Altınkaya Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	25
Şekil 4.9. Derbent Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri..	26
Şekil 4.10. Aylık ortalama akımlar .....	29
Şekil 4.11. Kritik dönem minimum akımlar .....	29
Şekil 5.1. Barajlarda, aylık minimum işletme seviyesi.....	33
Şekil 5.2. Kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri.....	34

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Aşağı Kızılırmak nehri ana kolunda birbirine seri bağılı bulunan baraj verileri .....	21
Tablo 4.2. Baraj aksından aksına aşağı Kızılırmak Nehri'nin uzunluğu .....	24
Tablo 4.3. Baraj için aylık ortalama akım değerleri (Obruk Barajı) .....	27
Tablo 4.4. Baraj için aylık ortalama akım değerleri (Boyabat Barajı) .....	27
Tablo 4.5. Baraj için aylık ortalama akım değerleri (Altınkaya Barajı) .....	28
Tablo 4.6. Baraj için aylık ortalama akım değerleri (Derbent Barajı) .....	28
Tablo 5.1. Barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar .....	30
Tablo 5.2. Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri .....	31
Tablo 5.3. Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarı.....	31
Tablo 5.4. Barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları .....	32
Tablo 5.5. Barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları...	32
Tablo 5.6. Barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri .....	32
Tablo 5.7. Barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri .....	33
Tablo 5.8. Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar .....	35
Tablo 5.9. barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları.....	35
Tablo 5.10. Barajlardan dolu savaktan bırakılan su miktarları,.....	36
Tablo 5.11. Barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri, .....	36
Tablo 5.12. Barajların aylık güç değerleri verilmiştir. ....	38
Tablo 5.13. Barajların Dsi yaklaşımına göre güvenilir güç değerleri, PG (MW)....	38
Tablo 5.14. Barajların Dsi yaklaşımına göre ortalama güç değerleri .....	39

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Çok Barajlı Sistem, Uzun Süreli Planlama, Enerji Optimizasyonu

Su kaynakları planlaması, ekonomisi, yaşam kalitesi ve hayat standartları ile bütünleşmiş, çok boyutlu ve karmaşık bir sürece sahiptir. Su kaynaklarının yönetimi ise, istenilen amaçlar doğrultusunda ve öngörülen kriterler çerçevesinde su kaynaklarının en verimli kullanımını sağlayacak faaliyetlerin tümünü kapsamalıdır. Birbirine seri olarak bağlı barajlardan oluşan çok barajlı bir su kaynakları sisteminde optimal işletme politikalarının belirlenmesi için genelde uzun süreli planlama kapsamında enerji üretimi, sulama ve kuraklık yönetimi gibi hususlar göz önüne alınmaktadır. Uzun süreli planlama kapsamında çok barajlı sistemlerde, enerji optimizasyonu ile ilgili çalışmalarda, enerji üretim fonksiyonunun doğrusal olmaması bakımından, genellikle, dinamik programlama optimizasyon tekniği ve simülasyon modelleri tercih edilmiştir. Bu çalışma, Aşağı Kızılırmak Havzasında birbirine seri olarak bağlı çok barajlı bir su kaynakları sisteminde uzun süreli optimal işletme kapsamında enerji optimizasyonu üzerinedir. Bu çalışmada, birbirine seri olarak bağlı çok amaçlı ve çok barajlı su kaynakları sistemi tanımlanmıştır. Bu sistem için uzun süreli planlama işletme optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Bu model Aşağı Kızılırmak Nehri ana kolu üzerinde bulunan Obruk, Boyabat, Altınkaya, Derbent barajlarına uygulanmıştır. Burada havzada bulunan baraj sistemi için matematiksel ilişkiler tanımlandıktan sonra, sistem üzerine optimal enerji üretim amaçlı optimizasyon modeli kurulmuştur. Modelde optimizasyon tekniği olarak ardışık yaklaşımlı dinamik programlama optimizasyon kullanılmıştır. Optimizasyonda amaç fonksiyonu iki aşamalı olup, ilk aşamada aylık kurak dönem akımlarıyla güvenilir enerji en büyüklenmesi ve ikinci aşamada ise elde edilen güvenilir enerji modelde kısıt olarak kullanılıp, toplam enerji en büyüklenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda elde edilen minimum ve normal işletme seviyeleri incelendiğinde, büyük hacimli barajların optimizasyon sürecini yönettiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, enerji üretimi bakımından modelden elde edilen sonuçlar incelendiğinde zaman, diğer yaklaşımlardan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

# **ENERGY OPTIMIZATION OF CONSECUTIVE DAMS LOCATED IN THE LOWER KIZILIRMAK BASIN**

## **SUMMARY**

Keywords: Multi-reservoir System, Long Term Planning, Energy Optimization

It has a multidimensional and complex process, integrated with water resources planning, economy, quality of life and living standards. The management of water resources should cover all activities that will ensure the most efficient use of water resources within the framework of the foreseen objectives and within the foreseen criteria. In order to determine the optimal operating policies in a multi-reservoir water resources system consisting of series of reservoirs connected to each other in series, issues such as energy production, irrigation and drought management are generally taken into consideration in the long term planning. In the context of long-term planning, dynamic programming optimization techniques and simulation models are generally preferred for energy-optimization studies in terms of non-linearity of energy production function. This study focuses on energy optimization in the context of long-term optimal operation in a multi-reservoir water resources system connected to each other in the Lower Kızılırmak Basin. In this study, multi-purpose and multi-reservoir water resources system, which are connected to each other, have been defined. A long-term planning operation optimization model has been developed for this system. This model was applied to the Obruk, Boyabat, Altınkaya and Derbent Reservoirs located on the main branch of the Lower Kızılırmak River. After defining the mathematical relationships for the reservoirs system in the basin, an optimization model for optimal energy generation has been established on the system. In the model, optimization optimization with sequential approximation is used as the optimization technique. The objective function in optimization is two-stage, in the first stage, it is aimed to increase the total energy by being used as a limitation in reliable energy model with the monthly dry-term currents and in the second stage as reliable in the model. When analyzed the minimum and normal operational levels for these purposes, it was concluded that large-scale reservoirs managed the optimization process. Also, when the results obtained from the model in terms of energy production are examined, it is seen that time gives better results than other approaches

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde hızlı nüfus artışına paralel olarak artan su talebine karşı elimizdeki su kaynaklarının azlığı ve gelişen sanayi ve tarımsal sulama faaliyetlerine bağlı olarak aşırı kullanım ve çeşitli kirlilik parametreleri nedeniyle ortaya çıkan sorunlar, su kaynakları yönetimini daha da önemli kılmıştır. Nüfusumuzun hızla arttığı, su kaynaklarımızın hızla tahrip edildiği ve iklim değişikliğinin kuraklıklara neden olduğu göz önüne alındığında, Türkiye'nin gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynakların çok iyi korunup, akılcı kullanılması gerekmektedir.

Ülkemizin toplam su potansiyelinin 501 milyar m<sup>3</sup> /yıl olduğu çeşitli kaynaklarca dile getirilmektedir. Bu miktarın; doğrudan akışa geçen kısmı 166 milyar m<sup>3</sup> /yıl, geriye kalan suyun %67'sinin sızma, buharlaşma ve transpirasyon ile kaybolduğu, akarsularımızın toplam debisi yeraltına sızan sularında katkısıyla yılda ortalama 186.1 milyar m<sup>3</sup>/yıl seviyesinde olduğu, baraj ve göletlerde tutulmanın yaklaşık 91.1 milyar m<sup>3</sup> /yıl olduğu, akarsular, göller ve yeraltı sularından oluşan toplam 111 milyar m<sup>3</sup> /yıl suyun, kullanılabilir su potansiyeli olduğu belirtilmektedir.

Ülkemizde su kaynakları en yoğun olarak sulama amaçlı kullanılmaktadır. Türkiye'de suyun %11'i sanayi, %16'sı evsel ve %73'ü ise tarımsal amaçlı kullanılmaktadır. 2016 DSİ verilerine göre sulama için 40 milyar m<sup>3</sup>, içme-kullanım için 7 milyar m<sup>3</sup> ve sanayi için 7 milyar m<sup>3</sup> su kullanılmıştır. Toplamda 54 milyar m<sup>3</sup> olan su tüketimi Türkiye'nin toplam su potansiyelinin yüzde 48,2'sine karşılık gelmektedir. Türkiye'de kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1519 m<sup>3</sup> civarındadır.

Su varlığına göre ülkeler aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır;

Su Fakirliği: Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1.000 m<sup>3</sup> 'ten daha az.

Su Azlığı: Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 2.000 m<sup>3</sup> 'ten daha az.

Su Zenginliği: Yılda kişi başına dufen kullanılabilir su miktarı 8.000-10.000 m<sup>3</sup> 'ten daha fazla.

Türkiye “su azlığı” sınıfında olan bir ülkedir. hızla artan nüfusumuz karşısında, su kaynaklarımızın hızla tahrip edilmekte ve iklim değişikliği kuraklıklara neden olduğu görölmekte ve gelecek nesillere yeterli su bırakmak için kaynakların çok iyi korunması ve akılcı kullanılması gerekmektedir.

### **1.1. Çok Barajlı Su Kaynakları Sisteminde Optimizasyon Kriterleri**

Su kaynakları planlaması, ülke ekonomisi ve hayat standartları ile bütünleşen, çok büyük ve karmaşık bir sürece sahip olmakla beraber, su kaynakları planlaması ve yönetimi, istenilen amaçlar doğrultusunda ve öngörülen kriterler çerçevesinde su kaynaklarının en verimli şekilde kullanımını sağlayacak çalışmaların tamamını kapsamalı gerekmektedir [2]. Çok barajlı ve çok amaçlı su kaynakları sistemlerinde optimal işletme politikalarının belirlenmesi süreci için genelde uzun süreli planlama bağlamında enerji üretimi dikkate alınmalıdır.

Çok barajlı sistemlerde, enerji optimizasyonu ile ilgili çalışmalarda, enerji üretim fonksiyonunun doğrusal olmaması bakımından, genellikle, dinamik programlama optimizasyon tekniği ve simülasyon modelleri tercih edilmiştir, [1, 3, 4, 9, 8, 5, 6 ve 7]. Taşkın kontrolü ve sulama gibi amaçlar için ise, su miktarı ve finansal açıdan simülasyon, doğrusal ve doğrusal olmayan programlama optimizasyon teknikleri ile yapılmış çalışmalar bulunmaktadır, [4]. Uzun süreli planlamada aylık kuraklık verileri kullanılarak güvenilir enerjiyi enbüyüklemeye yönelik çalışmalar yapılmış olmasına rağmen [3, 4, 9, 8 ve 7], saatlik olarak kuraklık kontrolü ve yönetimi amaçlı olarak yapılmış kısa süreli optimizasyon çalışmaları ilgili araştırmalara ulaşılamamıştır.

Çok barajlı bir sistemin uzun süreli optimal işletme politikalarının (normal işletme seviyeleri) aylık ortalama akımlarla üretilen enerjiyi enbüyükleyecek şekilde yapılması öngörölmüştür. Çok barajlı ve çok amaçlı bir su kaynakları sistemi tanımlandıktan sonra, bu sistemde enerji üretimini incelemek amacıyla uzun süreli

planlama çalışmaları yapılmıştır. Bu planlama neticesinde, uzun süreli optimizasyon modeli üretilmiştir. Bu modelde, kurak dönemde, kurak dönemin aylık ortalama akımları kullanılarak yapılan işletme neticesinde, aylık minimum işletme seviyeleri elde edilmiş ve en büyüklenmiş güvenilir güç değeri belirlenmiştir. Bu güvenilir güç değeri, aynı modelde kısıt olarak tanımlanarak toplam enerji en büyüklenmekte ve normal işletme seviyeleri elde edilmektedir. Böylece, sistem için güvenilir enerji ve toplam enerji optimizasyonları yapılmakta ve işletme politikaları belirlenmiştir.

Bir su kaynakları sisteminin işletilmesi için optimum işletimin bulunmasında genellikle şu üç yol söz konusudur:

1. Analitik tekniklerin uygulanması,
2. Benzetme teknikleri,
3. ve bu iki tekniğin kombinasyonudur.

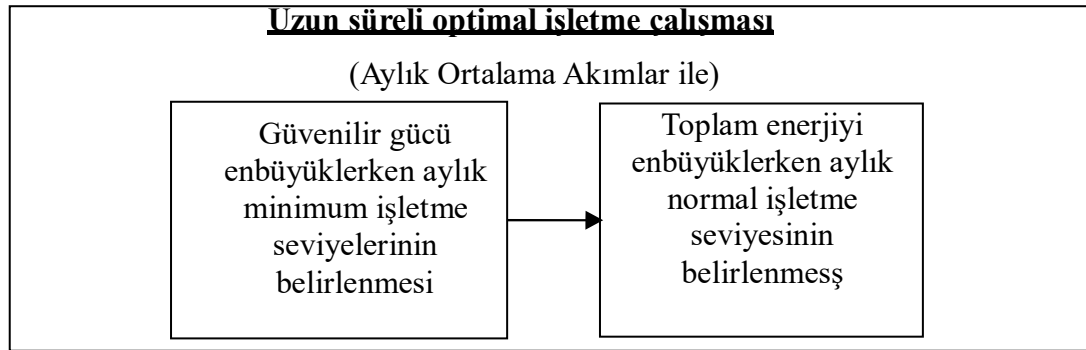
Analitik teknikler birçok şekilde sınıflanabilir. Genellikle doğrusal programlama ve dinamik programlama algoritmaları biçiminde bir sınıflandırma yapılabilir. Büyük ve karmaşık sistemlerin analizlerinde doğrusal ve dinamik programlama kombine kullanılmaktadır.

Su kaynakları problemlerinin analizinde yaygın kullanım alanı bulan tekniklerden biri de benzetme tekniğidir. Benzetim optimizasyon olmamakla beraber verilen bir koşulda optimumun bulunmasında etkin bir şekilde kullanılabilir.

**Doğrusal Programlama:** Belirli bir amacın gerçekleşmesini etkileyen bazı kısıtlayıcı koşulların ve bu kısıtlayıcı koşulların doğrusal eşitlik ya da eşitsizlik biçiminde verilmesi durumunda amaca en uygun çözümün bulunmasını sağlayan bir matematiksel yöntemdir. Amaç fonksiyonunu en büyük veya en küçük yapacak en iyi çözüme adım adım yaklaşan bir algoritma (hesaplama yöntemi) 'dır.

## 1.2. Uzun Süreli Planlama İçin Optimizasyonu

Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonunda, ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama (DPSA) optimizasyon tekniği kullanılmaktadır. Burada, kritik dönemin (kurak dönem) aylık akımları kullanılarak güvenilir güç en büyüklenmekte ve aylık minimum işletme seviyeleri elde edilmektedir. Buradan enbüyüklenen güvenilir güç, aynı modelde kısıt olarak kullanılıp, aylık ortalama akımlar ile toplam enerji enbüyüklenmekte ve aylık normal işletme seviyeleri belirlenmektedir. Şekil 1.1.'de, uzun süreli optimal işletme çalışması süreci özetlenmiştir [2].



Şekil 1.1. Uzun süreli optimal işletme çalışması süreci(Opan M.2007)

## 1.3. Uygulama Alanı Olarak Aşağı Kızılırmak Havzasındaki Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi

Aşağı Kızılırmak Havzası'nda Kızılırmak Nehri ana kolu üzerinde birbirine ardışık olarak bağlı çok barajlı bir sistem bulunmaktadır. Bu sisteme ait barajlar sırasıyla Obruk, Boyabat, Altınkaya ve Derbent barajlarıdır. Bu barajlardan Derbent barajı enerji ve sulama, diğer barajlar ise sadece enerji amaçlı planlanmıştır. Bu barajlara ait teknik ayrıntılar bölüm 4'te verilmektedir. Burada akım miktarı ve zaman boyutu, sırasıyla uzun süreli işletme modelinde  $10^7 \text{m}^3$  ve ay olarak alınmıştır.



## **BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

Yakowitz; yapmış olduğu bu çalışmada, su kaynağı problemleri için dinamik programlama modellerini gözden geçirmiştir ve bu problemlere çözümler bulmak için kullanılan hesaplama tekniklerini incelemiştir. Burada incelenen sorunlu alanlar arasında su kemeri tasarımı, sulama sistemi kontrolü, proje geliştirme, su kalitesi bakımı ve rezervuar işletme analizi sayılabilir. Hesaplamalı düşünceler, çözülebilecek dinamik programlama problemleri ölçeğinde ciddi kısıtlamalar getirmektedir. Dinamik programlamayı uygulamak için yaratıcı sayısal teknikler su kaynağı problemlerine uygulanmıştır. Kesikli dinamik programlama, diferansiyel dinamik programlama, durum artımlı dinamik programlama ve Howard'ın politika yineleme yöntemi gözden geçirilen teknikler arasındadır. Başarılı uygulamaları tasdik etmek için girişimlerde bulunulmuştur [5].

Duranyıldız ve arkadaşları; yapmış oldukları bu çalışmalarında, şans kısıtlı bir doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Bu model, gerçek bir su temini sisteminin aylık işletiminin optimizasyonuna uygulanmıştır. Bu model tarafından elde edilen farklı aşılma olasılıkları için sonuçlar dinamik programlama modeli ile elde edilmiş sonuçlar karşılaştırılmıştır [10].

Yeh; yapmış olduğu bu çalışmada rezervuar işlemleri için geliştirilen matematiksel modelleri incelemiştir. İncelenen algoritmalar ve yöntemler doğrusal programlama (LP), dinamik programlama (DP), doğrusal olmayan programlama (NLP) ve simülasyonu içermektedir. İlk önce genel bir bakış sunulmuştur. Her kilit modelin tarihsel gelişimi eleştirel bir biçimde gözden geçirilmiştir. Gelecekteki araştırmalar için sonuçlar ve tavsiyeler sunulmuştur [6].

Labadie; yapmış olduğu bu çalışmada, rezervuar sistemi yönetimi ve işlemlerin optimizasyonunda en son teknolojiyi değerlendirmek ve ek araştırma ve uygulama için gelecekteki yönergeleri değerlendirmiştir. Rezervuar sistemlerinin yüksek boyutlu, dinamik, doğrusal olmayan ve değişken özelliklerinin üzerinde durmak için tasarlanan optimizasyon yöntemleri ve çoklu hedefli optimizasyona yönelik uzantılar incelenmiştir. Evrimsel ve genetik algoritmalar kullanılarak sezgisel programlama yöntemlerinin uygulanması, sinir ağları ve rezervuar sistemi çalışma kurallarının çıkarımı için bulanık kural tabanlı sistemlerin uygulanması ile açıklanmıştır [11].

Brandão; yapmış olduğu bu çalışmada, çok hazneli bir hidroelektrik sistemin güç maksimizasyonu için optimum çalışmasını modellemek için basitleştirilmiş eşdeğer bir rezervuar gösteriminin geçerliliğini araştırmıştır. Arvanitidis ve Rosing (IEEE Trans Power Appar Syst 89 (2): 319-325, 1970) tarafından önerilen bu sadeleştirme, enerji girişleri ve çıkışları ile potansiyel bir enerji eşdeğer rezervuarını engellemektedir. Hidroelektrik sistem basitleştirilmeden bireysel rezervuar özellikleri dikkate alınarak güç maksimizasyonu için modellenmiştir. Her iki optimizasyon modelinde doğrusal olmayan programlama problemlerinin çözümü için MINOS paketi kullanılmıştır. İki yöntemle planlama ufku üzerinde toplam optimize edilmiş güç üretimi arasındaki bir karşılaştırma, eşdeğer rezervuarın% 6'dan az tatmin edici güç tahminleri üretebildiğini göstermektedir. Bu çalışma ile, Brezilya'daki üretim sistemi operasyonlarının, elektrik dağıtım prosedürlerinin bir parçası olarak eşdeğer rezervuar metoduna dayanması gerçeğiyle motive edilmiştir ve Potansiyel enerji eşdeğer rezervuar, dinamik bir programlama modelinde durum değişkenlerinin boyutsallığı ile ilgili sorunları ortadan kaldıran bir alternatiftir [12].

Kougias ve Theodossiou; yapmış olduğu bu çalışmalarında dört rezervuar sisteminin yıllık olarak optimum çalışmasını en üst düzeye çıkarmak amaçlanmıştır. optimizasyon tekniği olara Harmony Arama Algoritmasının (HSA) kullanıldığı çalışmada, elde edilen en yüksek faydanın %99.6 daha fazla faydayı sağlayan bir performans elde edilmiştir [13].

Guo ve ark. (2011) yapmış olduğu bu çalışmalarında hidroelektrik üretiminin ve hidroelektrik gelirin maksimize edilmesini objektif fonksiyonlar olarak seçerek, kademeli rezervuarların bireysel ve ortak işletimi için optimal modeller oluşturulmuştur. Uygulama için Çin'deki Üç Boğaz ve Qingjiang rezervuarlarının ortak çalışması incelenmiştir. Modeller aşamalı iyimserlik algoritması ile çözülmüş ve rezervuarlar arasındaki depolama ve elektrik dengeleme faydaları analiz edilmiştir. Bu çalışma için 1982-1987 ardışık hidrolojik yıllarının günlük giriş verileri seçildi. Tasarım çalışma kuralına göre, çoklu rezervuar sisteminin ortak çalışması, maksimum hidroelektrik üretiminin nesnel işlevi ile 5.992 milyar kwh ekstra güç veya % 5.70 artış sağlanabilir. Rezervuar depolama dengelemesi sayesinde, Üç Boğaz ve Qingjiang rezervuarlarının dökülen suyu sırasıyla 78.741 ve 5.384 milyar m<sup>3</sup> azaldığı görülmüştür [14].

Arunkumar ve Jothiprakash (2013) yapmış oldukları çalışmalarında evrimsel algoritmaların performansını arttırmak için ilk popülasyonu ve ayrıca diğer arama adımlarını üretmek için kaotik teknik tanıtılmış ve bir çok hazne sisteminin optimizasyonu için uygulanmışlardır. Sonuçlar basit bir genetik algoritma ve diferansiyel evrim algoritmasıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmadan, genel optimize ediciye sahip kaotik algoritmanın, daha az nesiller içinde global optimal çözümü ürettiği bulunmuştur[15].

Wang ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında 2004 (17 Temmuz-15 Ağustos) ve 2005 (8-27 Ağustos) yılındaki Baishan-Fengman rezervuar sisteminde sel olayları değerlendirmişlerdir. sayısal hava tahminleri (NWP) çıkışları (kısa tahmin) kullanılarak sel mevsiminde çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Model, Kuzeydoğu Çin'in Baishan-Fengman çoklu rezervuar sistemine uygulanmıştır [16].

Li X ve ark. (2014) çoklu rezervuar sisteminin ortak çalışmasını optimize etmek için paralel dinamik programlama algoritması geliştirmişlerdir. paralel DP algoritması Çin'deki gerçek dünyadaki beş rezervuar sistemine uygulamışlardır. Önerilen metodolojinin paralel verimliliğini ve pratik faydasını göstermişlerdir [17].

Hajiabadi ve Zarghami yapmış oldukları çalışmada Kuzey İran'daki Sefidrud rezervuarının çok amaçlı optimizasyonu için dominant olmayan sıralama genetik algoritması (NSGA-II) kullanmışlardır. Temel hedefler su temini, hidroelektrik üretimi ve sediment temizleme. Rezervuar deposu ve çıkış akışı, maksimum su çıkışı ve sulama mevsimlerinde temizleme gibi bazı fiziksel kısıtlamalara ek olarak, balık göçü ve yumurtlama gibi çevresel kısıtlamalar da hesaba katılmıştır. Daha sonra çeşitli senaryolar tanımlanmıştır. Bu senaryolar yeni bir sürdürülebilirlik endeksi getirilerek analiz etmişlerdir. Ayrıca, senaryoların daha iyi değerlendirilmesini sağlamak için mansap su talebinin farklı yüzdeleri dikkate alınmıştır. Çalışmanın sonuçları, optimum hidroelektrik enerji ve aynı zamanda su kaynağı ile mevcut işletmelere göre 37 milyon tonluk sediment akışını artıran Sefidrud rezervuarının mevcut operasyonlarından daha uygun çözümlerin daha sürdürülebilir olduğunu göstermişlerdir [18].

Heydari ve arkadaşları; yapmış oldukları çalışmada Tahran-Karac ovasının farklı ihtiyaçlarının karşılanması için karışık tamsayılı doğrusal programlama (mixed integer linear programming) (MILP) tekniğine dayalı bir model geliştirmişlerdir. MILP tarafından geliştirilen modelin periyodik verilere karşı sonuçları, sırasıyla % 21.7 daha az, % 11.6 daha fazla ve % 15.9 daha fazla rezervuar depolama olduğunu göstermişlerdir [19].

Ming ve arkadaşları; yapmış oldukları çalışmalarında enerji üretimini arttırmak amacıyla, guguk arama Cuckoo Arama (CS) algoritmasının OOMRS'ye (Optimal Operation of Multi-Reservoir System) uygulanmıştır. Çin'in Wujiang çoklu rezervuar sistemi incelenmiştir. CS'nin yaklaşık üç farklı senaryo için ortalama 12.31 milyar kW saat, 10.43 milyar kW saat ve 10.02 milyar kW saat enerji üretimi ile daha iyi ve daha güvenilir sonuçları sağlanmıştır [20].

Mao ve arkadaşları; yapmış oldukları çalışmalarında hem üst Yangtze Nehri hem de Dongting Gölü kollarındaki 8 önemli rezervuar dahil olmak üzere çok rezervuar sisteminin çalışması için sahaya özel bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir [21].

Lin ve Rutten; yapmış oldukları çalışmalarında son gelişmeler ile çok amaçlı bir rezervuar ağının operasyonel yönetiminde önceki son teknoloji incelemelerini genişletmek ve bir rezervuar sisteminin gerçek zamanlı kontrolü için Model Öngörücü Kontrol uygulamasına odaklanmıştır [22].

Müller ve Schüt; yapmış oldukları çalışmalarında Monte Carlo rekombinasyon yöntemi (MCR) önermişlerdir. MCR'nin yeteneklerinin gösterilmesi için, Almanya'nın Doğu Cevheri Dağlarında çok amaçlı çoklu rezervuar sisteminin optimizasyonu için bir MOPSO çerçevesine entegre etmişlerdir. Bu uygulamayı, 10.000 yıllık bir uzunluğa sahip sentetik zaman serileri üretilir ve 882 yıla indirilir, bu da hesaplama yükünün on bir faktörle azalmasına neden olduğunu göstermişlerdir. Sonuçların doğrulanması, MOPSO çerçevesinin, aylık % 99,95'in üzerinde güvenilirlik sağlayan operasyonel politikaların optimizasyonuna ve yıllık % 99,7'ye kadar çıkabileceğini göstermişlerdir [23].

Gu ve arkadaşları; yapmış oldukları çalışmalarında, her bir verici rezervuarından ne zaman, nerede ve ne kadar su akması gerektiğini belirlemek için bir dizi su transfer kuralı eğrileri önermişlerdir. Ayrıca, en uygun işletme kuralı eğrilerini elde etmek için su kıtlığı riskini en aza indirmeyi amaçlayan bir simülasyon optimizasyon modeli oluşturmuşlardır. Bunu takiben, yeni transfer kuralları, merkezi Çin'deki iki verici rezervuarlı bir su transfer-tedarik projesinin işletilmesi için kılavuz sağlamak için uygulanır. Her bir rezervuardaki su saptırmasının etkileri, herhangi bir saptırma, verici rezervuarından nispeten yeterli suya sahip olmak, verici rezervuardan nispeten sınırlı su ile saptırmak ve her iki verici rezervuarından sapma olmak üzere farklı senaryolar altında değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, tüm su saptırma sisteminin performansını iyileştirmenin avantajlarını ve önerilen yaklaşımın fizibilitesini göstermişlerdir [24].

Ji ve arkadaşları; yapmış oldukları çalışmalarında Yalong Nehri'ni konu alarak. DP'ye dayalı olarak çok aşamalı Dinamik Programlama (MSDP) adlı yeni geliştirilmiş bir DP önermişlerdir. MSong ile SCROO problemini çözmek için Yalong nehri havzasındaki Jindong ve Guandi'den oluşan basamaklı hidroelektrik santrallerini örnek olarak almışlardır. MSDP ve DP'nin operasyon sonucunu daha kolay işlemeye

karşılaştırarak, MSDP'nin operasyon stratejisi, DP'lerin fiili operasyonundan daha fazla fayda sağladığını göstermişlerdir [25].

Ahmadianfar ve arkadaşları; yapmış oldukları çalışmalarında gelişmiş diferansiyel evrim algoritması(EDE) kullanılarak, DE algoritmasının yerel ve küresel arama yeteneklerinin geliştirilmiştir. EDE'nin DE ile kıyaslandığında çok daha iyi bir arama hassasiyeti gösterdiğini gözlemlenmiştir, dolayısıyla karmaşık hazne işletme problemlerini çözmek için etkili, hızlı ve güçlü bir optimizasyon algoritması olarak gösterilmiştir [26].

Ashrafi ve Dariane; yapmış oldukları çalışmalarında, dağıtılmış talepleri olan çoklu rezervuar sistemlerini yönetmek için, birleştirilmiş işletim kuralları (COR) adlı basit ve uygun bir çalışma stratejisi tanıtmışlardır. Uygulanan politika iki tür doğrusal denklemi içermiştir. İlk tip, karar noktalarından toplam yayınları belirlenmiş ve ikincisi, sistem genelinde eksiklikleri doğru bir şekilde dağıtmak için tasarlanmıştır. Önerilen simülasyon optimizasyon yaklaşımı Karkheh nehir havzasında üç rezervuar sisteminin işletilmesi için uygulamıştır. Sonuçlar, sistem açıklarının iyi bir dağılım eşitliğini göstermiştir. Ayrıca, sistem kayıpları uygun bir şekilde yönetilmiştir [27].

Sangiorgio ve Guariso; yapmış oldukları çalışmalarında rezervuar yönetim probleminin çözümü için gizli bir stokastik optimizasyon yaklaşımı önermişlerdir. Temel fikir, açık döngü yaklaşımıyla elde edilen optimal politikaları tahmin eden serbest bırakma kuralları tasarlamak için yapay sinir ağları (NN) gibi son derece esnek işlevler kullanmışlardır. Bu çalışma, kontrol yasalarının girdisini temsil eden bilgilerin farklı önem derecelerinin etkilerini araştıran bilgilerin önemini özellikle vurgulanmıştır. Metodoloji, temel yönetim hedefleri (sulama suyu açığının en aza indirilmesi ve hidroelektrik üretiminin en üst düzeye çıkarılması) göz önüne alındığında Nil Nehri havzasına uygulanır, ancak diğer durumlarda da kolaylıkla benimsenebilir [28].

Bacaksız; yapmış olduğu çalışmada, çok amaçlı ve çok sayıda rezervuarlı bir su kaynakları sistemi tanımlanmıştır. Bu sistemde üç senaryo olarak kabul edilir. Sistem,

uzun vadeli planlama için en uygun işletme modeli üzerine kuruludur. Model için ardışık yaklaşımlarla dinamik programlama tekniği kullanılmıştır. Optimizasyon modelindeki nesnel işlev, iki aşamalıdır, firma ve toplam enerjilerin maksimize edilmesi. Model, Yeşilirmak Havzası'ndaki Yeşilirmak Nehri'nin ana ve ikincil çizgisinde ardı ardına sunulan çok amaçlı ve çoklu rezervuarları olan bir su kaynakları sistemine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, enerji üretiminin maksimize edilmesine göre değerlendirilir. Buna göre, uzun vadeli planlama için optimal operasyonel modelden elde edilen firma enerjisi, ampirik denklemlerle belirlenen değere yaklaşık olarak verilmektedir ve modeldeki ortalama enerji, ampirik denklemlerle belirlenen değerden% 32 daha iyidir. Operasyonel depolaması en yüksek olan rezervuarların optimizasyon sürecinin kontrol edildiği ve yönetildiği görülmüştür [9].

El-janabi; yapmış olduğu çalışmada, Orta Sakarya havzasında bulunan enerji üretimi amaçlı barajlarda optimal enerji üretimi üzerinedir. Burada havzada bulunan baraj sistemi için matematiksel ilişkiler tanımlandıktan sonra, sistem üzerine optimal enerji üretim amaçlı optimizasyon modeli kurulmuştur. Modelde ardışık yaklaşımlı dinamik programlama optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Modelde amaç fonksiyonu iki aşamalı olup, ilk aşamada aylık kurak dönem akımlarıyla güvenilir enerji en büyüklenmesi ve ikinci aşamada ise elde edilen güvenilir enerji modelde kısıt olarak kullanılıp, toplam enerji en büyüklenmesi amaçlanmaktadır. Elde edilen sonuçlar ile havza için önceden planlanan çalışmalar karşılaştırıldığında, kurulan optimizasyon modelinin daha iyi sonuç ürettiği görülmüştür. optimizasyon modelinde, en büyük hacme sahip barajın enerji en büyüklenme sürecini kontrol ettiği ve yönettiği gözlenmiştir [8].

Asiabar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada İran'ın yüzey su kaynaklarının beşte biri içeren Karoon-Dez çoklu rezervuar sisteminin su ihtiyacını karşılamak, hidroelektrik enerjisi üretmek ve aşağı havzadaki su kalitesini kontrol etmek için Öz Öğrenme Genetik Algoritması (Self-Learning Genetic Algorithm) (SLGA) adlı yeni bir model sunulmuştur. Yakınsama hızında, çözüm çeşitliliğinde, çözümlerin kalitesinde ve çalışma süresinde iyileşmeler gösterilmiştir. SLGA'nın büyük ölçekli

çoklu rezervuar, çok amaçlı hazne işletme optimizasyonu problemlerini çözme kabiliyetine sahip olduğu da gösterilmiştir [29]

Dessalegne ve Nicklow yapmış oldukları çalışmalarında Çoklu Rezervuar Nehir Sistemlerinin Yönetimi için Yapay Yaşam Algoritması kullanmışlardır . Illinois Nehri üzerindeki ALA uygulaması, politika dönemine göre daha yüksek CPU zamanı ile sonuçlanmıştır. Bu nedenle, hesaplama zamanını kesmek için, paralel hesaplama ortamındaki ALA'nın tasarlanması, evrimsel algoritmalar gibi ALA prosedürü olarak önermişlerdir [30]

Xu ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında Üç Gorges kaskat ve Qingjiang çağılayan rezervuarını çalışma alanı olarak seçip, Dinamik Uygun Bölge Genetik Algoritması (DFRGA) önermişlerdir. Geleneksel GA ile karşılaştırıldığında, DFRGA'nın% 1,43 oranında artan bir enerji üretimi ile çözüm kalitesini geliştirdiğini ve % 83.94 oranında sapmayı azaltarak sağlamlığı artırdığını göstermişlerdir [31]

Doğan; yapmış olduğu çalışmada Yapay Sinir Ağları (YSA) ile Aşağı Sakarya Nehri debi miktarını tahmin etmiştir. YSA modeli İleri Beslemeli GeriYayımlı Sinir Ağları modeli olarak tercih edilmiş,çeşitli senaryolar altında zaman ötelemesi yapılmış, en iyisonucu veren senaryo belirlenmeye çalışılmıştır. Sakarya nehri üzerinde yapılan bu çalışmanın, ileride yapılacak olan enerji ve taşkın çalışmalarına yardımcı olması düşünülmüştür [32].

Yaseen ve arkadaşları; yapmış oldukları çalışmalarında akım akış modellemesi ve tahmininde uygulanması hakkındaki literatürü araştırdı. Yapay Zeka kullanımı, hidrolojik uygulamaların öngörülmesinde ve simüle edilmesinde ve gürültü karmaşıklığı, durağan olmama, dinamizm ve doğrusal olmama durumlarında önemli ilerleme kaydetti. Literatüre kapsamlı bir genel bakış ayrıca Yapay Zeka kullanımı modellemenin, modellemenin performansını artıran ve doğru sonuçlar veren birçok kriter üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ön hazırlık zaman serileri frekansı, en temel girdi değişkenlerini seçmek ve en uygun zaman ölçeğini seçmek, doğru modelleme için anahtar ilkelerdi. Son olarak, gözden geçirme, akım akışı



tahmini için yeni mimari, Hızlı Ortogonal Arama (FOS) tekniklerine dayalı zaman serisi frekansını ön işleme için yenilikçi bir yöntem ve modern olan Swarm Intelligence (SI) dahil olmak üzere gelecekteki bazı araştırma olanaklarını da belirlemiştir [33].

Olukanni ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında Genetik Algoritma (GA) 'nın Nijerya'daki Jebba Hidroelektrik Barajı' na çok amaçlı bir rezervuarın çalışmasını modellemek için kullanmışlardır. 27 yıllık süre için (1984 - 2011) Mevcut veriler, istatistiksel analiz için baraj İstasyonundan almışlardır. GA için MATLAB yazılımı kullanılmıştır, karşılaştırma ve kontrol için benzer bir başka optimizasyon yazılımı (LINGO) kullanılmıştır. % 50'lik rezervuar iç akış güvenilirliğinin işletme performansında elde edilen en uygun çözüm, toplam yıllık enerji üretimi 42105.63MWH'dir. Operasyon performansında yıllık% 95,% 90 ve% 75 rezervuar iç akış güvenilirliği için GA sırasıyla 15964,48 MWH, 21009,53 MWH ve 20798,58 MWH'dir. GA'nın uygulanması, hidroelektrik enerji üretimi ve taşkın yönetiminin iyileştirilmesi için daha gerçekçi ve güvenilir bir optimal değere yol açacağını gözlemlenmiştir [34].

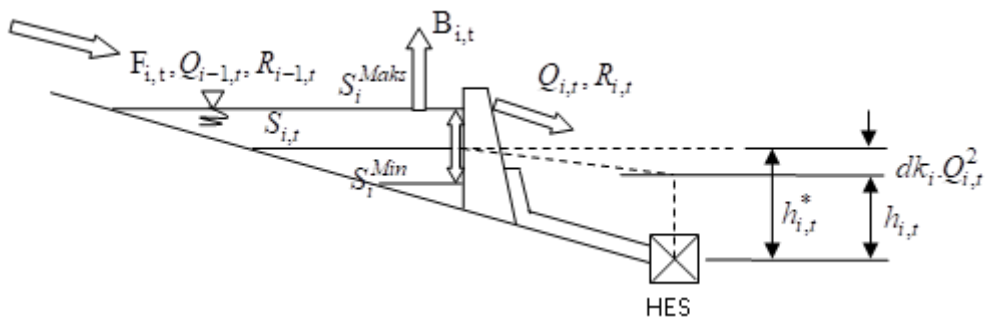
## BÖLÜM 3. ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİNİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ

### 3.1. Sistemin Matematiksel Modeli

Bir akarsuyun ana hattı üzerinde birbirine seri olarak bağlanmış çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemi tanımlanabilir. Şekil 3.1.'de, çok barajlı bir su kaynakları sistemi; Şekil 3.2.'de, bu sistem içinde bulunan herhangi bir i-barajının t-zamanına ait işletilmesi ile ilgili değişkenleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Birbirine seri olarak bağlı çok barajlı su kaynakları sisteminin şematik görünüşü



Şekil 3.2. Herhangi bir i-barajında t-zamanına ait işletilmesi ile ilgili değişkenleri(Opan M. 2007)

Bu sistemde süreklilik denklemi,

$$S_{i,t+1} - S_{i,t} = F_{i,t} + Q_{i-1,t} + R_{i-1,t} - Q_{i,t} - R_{i,t} \quad (3.1)$$

$S_{i,t}$  : i- barajında t-zamanda depolanan su miktarı

$F_{i,t}$  : i-barajında t- zamanda havzadan gelen su miktarı

$Q_{i,t}$  : i-barajından t-zamanda enerji üretimi için bırakılan su miktarı

$R_{i,t}$  : i-barajında t-zamanda dolu savaktan bırakılan su miktarı

olarak tanımlanabilir.

Bu sistemde her bir baraj için depolanan su miktarları, baraj maksimum ve minimum hacimleri ile sınırlanmış durumda olup, her bir barajda depolanmış su miktarı

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

Arasında ve burada;

$S_i^{Min}$  : i-barajında depolanan minimum su miktarını

$S_i^{Maks}$  : i-barajında depolanan maksimum su miktarını

gösterir. Barajdan bırakılacak akımlar enerji üretim kapasitesine ve dolu savak kapasitesine bağlı olarak değişir. Bu durumda barajdan bırakılan akımlar

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

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

şeklindedir. Burada,

$Q_i^{Maks}$  : i-barajında enerji üretimi için bırakılabilecek maksimum su miktarını

$R_i^{Maks}$  : i-barajında dolu savaktan bırakılabilecek maksimum su miktarını gösterir.

Bu sistemde, barajlardan bırakılan akımların toplamına alt ve üst sınırlar getirilebilir.

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

arasında olup, burada,

$W_{i,t}$  : i-barajında t-zamanda bırakılması gereken minimum su miktarı

$W_i^{Maks}$  : i-barajında bırakılabilecek maksimum su miktarı olarak ifade edilebilir.

i-barajında t-zamanda elde edilen ortalama güç

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

olup, ortalama güç ile kurulu güç arasında,

$$P_{i,t} \leq P_{k_i}$$

olmalıdır. Barajlardaki ortalama su yüksekliği,

$$h_{i,t}^* = h \left( \frac{S_{i,t} + S_{i,t+1}}{2} \right) \quad (3.7)$$

şeklinde ortalama depolanmış su miktarının bir fonksiyonu olarak elde edilmektedir. Cebri borudaki enerji kayıpları göz önüne alındığında,

$$h_{i,t} = h_{i,t}^* - (h_f)_{i,t} \quad (3.8)$$

olmakta ve buradan

$$h_{i,t} = h_{i,t}^* - dk_i \cdot Q_{i,t}^2 \cdot L_i \quad (3.9)$$

yazılabilir. Burada,

$h_{i,t}^*$  : cebri boruda enerji kaybı olmaksızın i-barajında t-zamandaki ortalama su yüksekliği

$(h_f)_{i,t}$  : i-barajında t-zamandaki enerji kaybı

$dk_i$  : i-barajında enerji kaybı katsayısı

$l_i$  : i-barajında cebri boru uzunluğu olarak tanımlanır.

### 3.2. Uzun Süreli Planlama için Ardışık Yaklaşırnalı Dinamik Programlama Modeli

Çok amaçlı çok barajlı su kaynakları sisteminde uzun süreli planlama yaklaşımında, zaman adımları olarak aylar kullanılmaktadır. Sistemin verilen boyutları için, ardışık yaklaşırnalı dinamik programlama (DPSA) modeli ile aylık kurak dönem akımları kullanılarak güvenilir gücü enbüyükleyecek şekilde aylık minimum işletme seviyeleri ( $S_{i,t}^{Min}$ ) belirlenmektedir. Buradan elde edilen güvenilir güç, modelde kısıt olarak kullanılıp, aylık ortalama akımlar ile toplam enerji enbüyüklenmekte ve aylık normal işletme seviyeleri ( $S_{i,t}^{Nor}$ ) bulunmaktadır. Bunun için, modelde, amaç fonksiyonu, iki kriterli olarak ele alınmaktadır.

1. Kurak dönemin aylık akımları ile güvenilir gücün enbüyüklenmesi,

$$Max.(\min. \sum_{i=1}^M P_{i,t}) \quad (3.10)$$

Burada,  $t=1,2,3 \dots KM$ ,  $KM$ : Kurak dönem ay sayısını ifade etmektedir.

2. Aylık ortalama akımlarla toplam enerjinin enbüyüklenmesi, ( $P_G = \text{sabit}$ ),

$$Max. \sum_{t=1}^{KM} \left[ \left( \sum_{i=1}^M P_{i,t} - P_G \right) \cdot p_s + P_G \cdot p_G \right], \quad (KM=12 \text{ ay}) \quad (3.11)$$

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

$$\sum_{i=1}^M P_{i,t} \geq P_G \quad (3.12)$$

şeklindedir. Burada,

$P_G$  :Eniyilenmiş güvenilir gücü,

$p_G$  :Güvenilir enerji birim fiyatını,

$p_S$  :Sekonder enerji birim fiyatını,

göstermektedir. Güvenilir güç ( $P_G$ ), kurak dönemin aylık akımları kullanılarak belirlenmekte ve aylık ortalama akımlara göre sekonder enerjinin enbüyüklenmesi ile toplam enerjinin enbüyüklenmesi sağlanmış olmaktadır. Burada kullanılan enerji birim fiyatlarının sonuç üzerinde bir etkisi olmamakla birlikte, sadece toplam enerji faydasının değerini belirlemek için kullanılmaktadır.

Barajdan bırakılacak akım miktarları, enerji üretimi ve dolu savaktan bırakılan akımlar, sırasıyla, Denklem 3.1. ve 3.2.'de gösterildiği gibi tanımlanmaktadır [2].

### 3.3. YSA İle Akım Verisi Tahmini

#### 3.3.1.Benzetim modeli

Gerçek hayattaki bir sistemin bilgisayar ortamına aktarılmasına, taklit edilmesine benzetim denir. Benzetim, sistemin yapay geçmişinin üretilmesine ve gerçek sistemin karakteristik özelliklerine dair çıkarımlar yapmak üzere bu geçmişin gözlemlenmesine olanak verir. Genel anlamda benzetim, zaman içinde sistemin işleyişinin taklididir. Benzetim, çeşitli koşullar altında sistemin tavrının gözlemlenebilmesi için, bu sistemin modellenmesi olarak da tanımlanabilir.

Benzetim çalışmasında, gerçek sistemden (mevcutsa) toplanan veri, sistemin modelinin çalıştırılabilmesi için gerekli olan girdi parametrelerinin tahmininde kullanılır.

Bu çalışmada, benzetim modelinde uzun süreli planlamadan elde edilen aylık optimal işletme seviyeleri ve YSA ile tahmin edilen akım verileri kullanılmaktadır. Başlangıç politikası olarak aylık optimal işletme seviyeleri ile akımlar karşılanmakta, barajdan enerji üretmesi için bırakılan akımlar enerji üretim kapasitesini aşmayacak şekilde bırakılmakta, fazla su dolusavaktan savaklanmaktadır. Bu şekilde benzetim işletme

seviyeleri oluşturulmakta ve bu seviyelerden bırakılan akımlara bağlı olarak enerji üretimi elde edilmektedir.

## **BÖLÜM 4. AŞAĞI KIZILIRMAK HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ**

### **4.1. Aşağı Kızılırmak Havzası**

Kızılırmak Nehri kendi topraklarımızda doğup kendi topraklarımızdan karasularımıza dökülen en uzun akarsudur. Uzunluğu 1.355 km'dir.

Kızılırmak Nehrinin rejimi kışın kar yazın yağmur suları ile beslendiğinden düzensizdir. Temmuz ayı ile şubat ayı arasında düşük su seviyesinde akan nehir, Mart ayında karların erimeye başlamasıyla hızla kabarır ve Nisan ayında en yüksek su seviyesine ulaşır. Ortalama debisi 184 m<sup>3</sup>/sn olan nehrin 20 yıllık gözlem verilerine en az 18,4 m<sup>3</sup>/sn'ye ve en çok 1.673 m<sup>3</sup>/sn'ye ulaştığı görülmüştür. Havzaya kış aylarında yağışlar kar şeklinde yağar. Hava sıcaklığından kış aylarında erime olmadığından akarsuya kar suyu katılmaz ve Sıcaklık düşük olduğundan kış aylarında buharlaşmada azdır. İlkbaharda yağış artar, dağlardaki karlar erir, debi artar. Yazın orta ve yukarı havzada yağış yetersizdir, buharlaşma şiddetlidir. Bu mevsimde debi minimum seviyeye iner.

Kızılırmak nehri üzerinde birçok baraj bulunmaktadır. Aşağı Kızılırmak nehri ana kolu üzerinde birbirine seri olarak bağlı bulunan dört adet barajla çalışmamızı gerçekleştireceğiz. Bu barajlar sırasıyla Obruk, Boyabat, Altinkaya ve Derbent barajlarıdır. Barajlara ait veriler Tablo 4.1.'de gösterilmektedir.





Şekil 4.1. Kızılırmak havzası'nın şematik görünüşü [33].

Tablo 4.1. Aşağı Kızılırmak nehri ana kolunda birbirine seri bağlı bulunan baraj verileri (DSİ 2018)

	<b>OBRUK</b>	<b>BOYABAT</b>	<b>ALTINKAYA</b>	<b>DERBENT</b>
Yağış alanı ( <b>km<sup>2</sup></b> )	58077	64724	75165	75166
Amaç	ENERJİ	ENERJİ	ENERJİ	ENERJİ SULAMA
Kurulu güç ( <b>MW</b> )	210	513	700	56
<b>Talvegden Baraj yüksekliği (m)</b>		150	137	29
Maksimum işletme seviyesi ( <b>m</b> )	510	330	190	59.5
Minimum işletme seviyesi ( <b>m</b> )	506	305	160	54
Maksimum hacim ( <b>10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></b> )	661	3557	5763	212.55
Minimum hacim ( <b>10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></b> )	524	2147	2871	164
Kuyruk suyu kotu ( <b>m</b> )	446	192.9	61	33.7
Dolu savak kotu ( <b>m</b> )	510	330	190	59.5
Dolu savak kapasitesi ( <b>m<sup>3</sup>/sn</b> )		9300	9250	11800
Enerji üretimi kapasitesi ( <b>m<sup>3</sup>/sn</b> )		429.07	688.09	284.2
Aylık maksimum akım ( <b>m<sup>3</sup>/sn</b> )*		230.84	300.68	260.91
Aylık minimum akım ( <b>m<sup>3</sup>/sn</b> )*		15.91	43.03	70.67
Aylık ortalama akım ( <b>m<sup>3</sup>/sn</b> )*		86.36	113.28	116.34

Tablo 4.1.'de gösterilen Obruk, Boyabat, Altinkaya, Derbent Barajlarının görüntüleri sırasıyla, Şekil 4.2.,4.3.,4.4., ve 4.5.'te verilmiştir.



Şekil 4.2. Obruk Barajı'nın Görüntüsü [34].



Şekil 4.3. Boyabat barajı'nın görüntüsü [35].



Şekil 4.4. Altinkaya Barajı'nın görüntüsü [36].



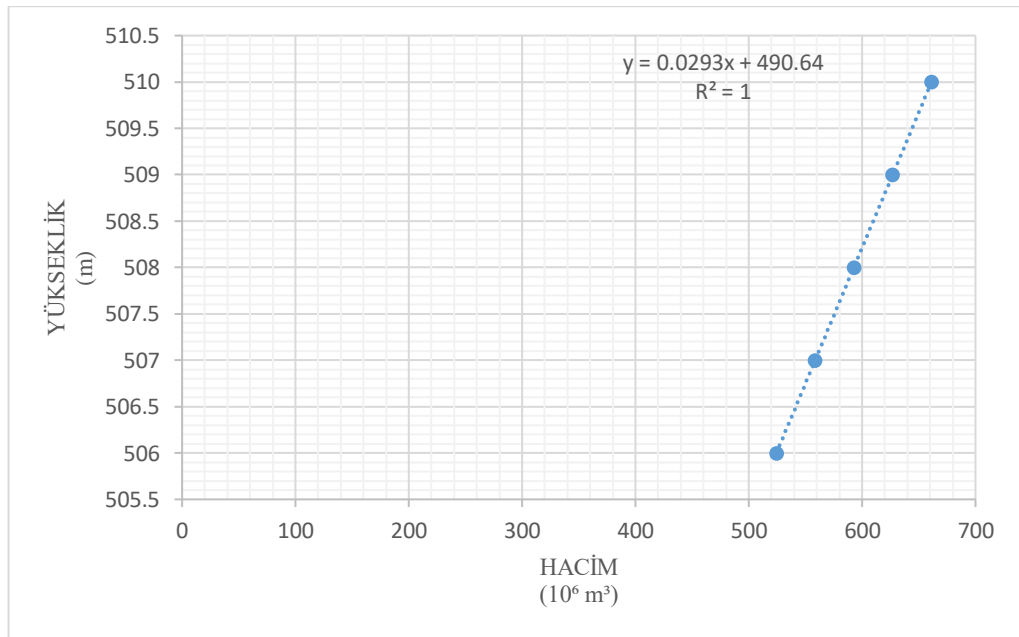
Şekil 4.5. Derbent Barajı'nın görüntüsü [37].

Tablo 4.2. Baraj aksından aksına aşağı Kızılırmak Nehri'nin uzunluğu

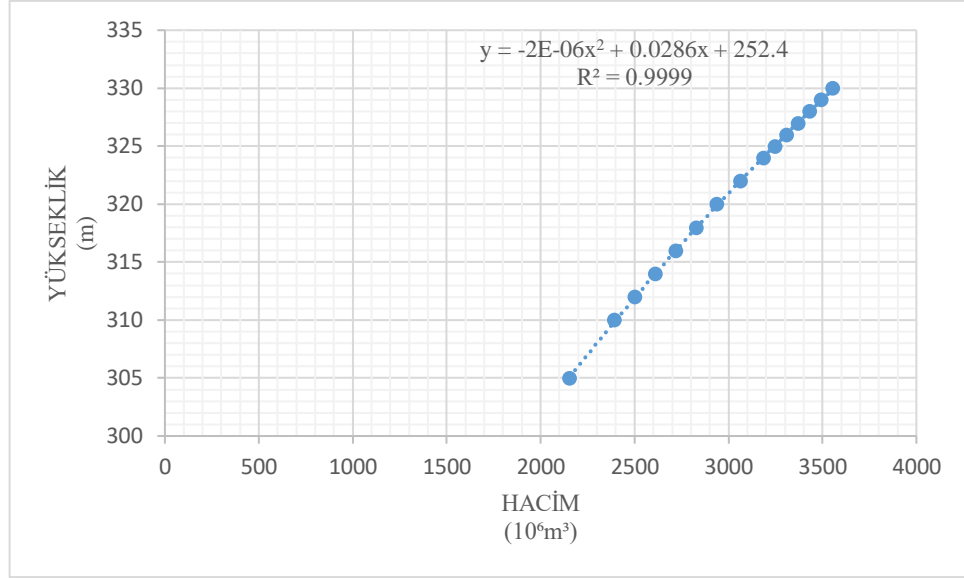
BARAJLAR	UZAKLIK (KM)
OBRUK-BOYABAT	65 KM
BOYABAT-ALTINKAYA	60 KM
ALTINKAYA-DERBENT	15 KM

#### 4.2. Yükseklik Hacim İlişkileri

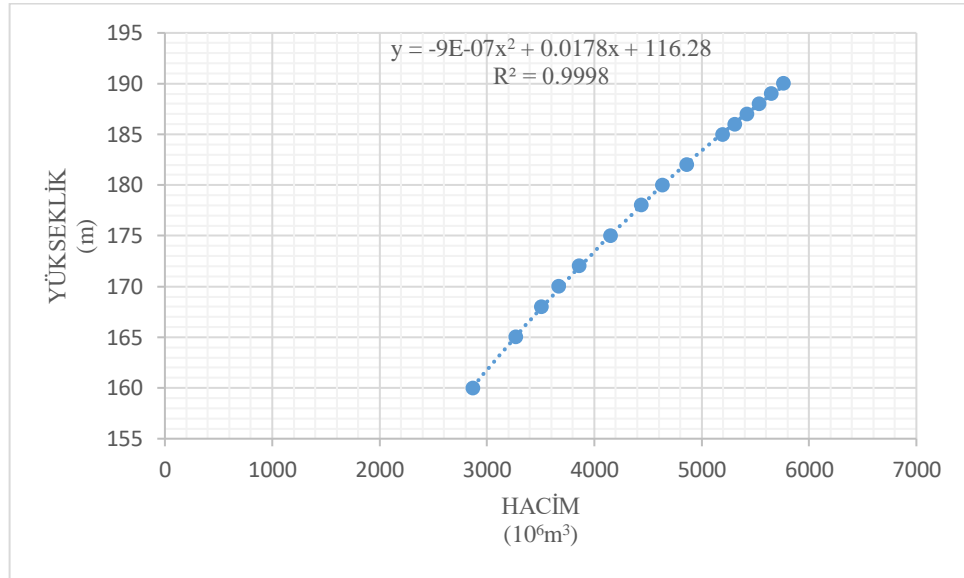
Barajlarda enerji üretimi, baraj su yüksekliği ve türbinden çıkan su kotuna bağlı olarak elde edilmektedir. Bu sebeple barajlara gelen su yükseklikleri ve bu yüksekliklere karşılık gelen hacimlerin bilinmesi gerekmektedir. Buradan Kızılırmak Nehri'nin ana kolu üzerinde bulunan çok barajlı su kaynakları sisteminde barajlara ait hacim, yükseklik grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler için  $h=a.V^2 +b.V+c$  şeklinde tanımlanan denklemin regresyon analizi yapılarak a, b ve c katsayıları ile  $R^2$  regresyon katsayısının değerleri belirlenip, grafik üzerine işlenmiştir. Kızılırmak Nehri ana kolu üzerindeki Obruk, Boyabat, Altinkaya, Derbent barajlarının yükseklik hacim eğrileri ve denklemleri sırasıyla gösterilmektedir.



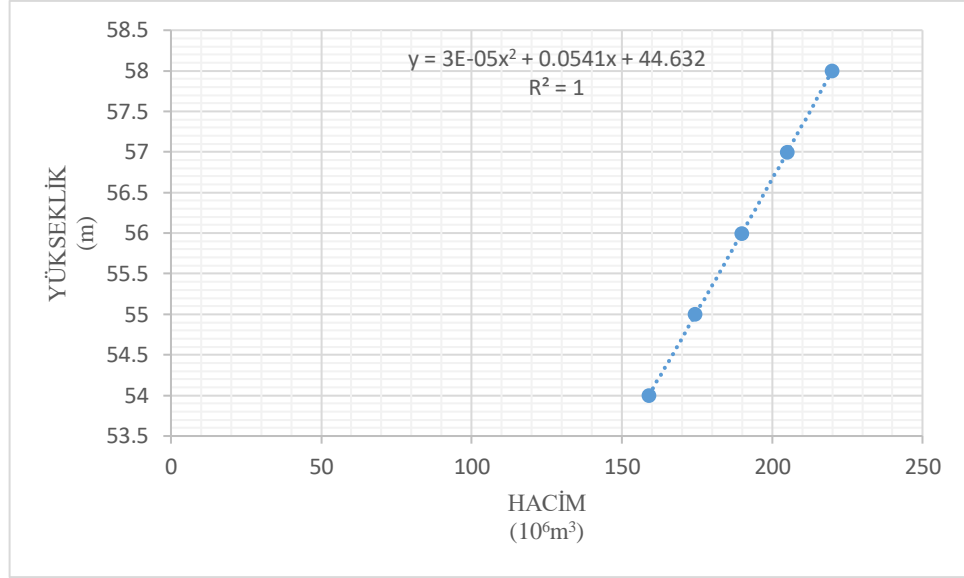
Şekil 4.6. Obruk Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemleri ve regresyon değeri



Şekil 4.7. Boyabat Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 4.8. Altınkaya Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 4.9. Derbent Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri

### 4.3. Barajlara Gelen Akımlar

Aşağı Kızılırmak havzası üzerinde bulunan akım gözlem istasyonlarından alınan günlük akım miktarları baraj akslarına taşınmış ve  $10^7\text{m}^3$  olarak düzenlenmiştir. 1990-2011 yılları arasındaki her bir baraj için aylık ortalama akım değerleri Tablo 4.3., Tablo 4.4., Tablo 4.5. ve Tablo 4.6.'da verilmiştir.

Tablo 4.3. Baraj için aylık ortalama akım değerleri (Obruk Barajı)

SU YILI	AYLAR												TOPLAM
	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	
1990	41.59	58.27	60.57	40.06	27.41	31.05	33.16	27.22	28.94	31.05	33.16	29.52	441.98
1991	36.61	42.17	30.09	60.57	49.07	37.57	43.70	51.18	42.74	24.73	28.56	26.64	473.61
1992	37.57	48.30	37.95	37.18	32.01	38.53	41.40	44.66	31.82	34.31	32.58	31.43	447.73
1993	65.74	65.17	77.63	29.13	27.98	35.84	46.00	24.53	30.09	47.15	79.73	38.33	567.33
1994	32.97	36.80	30.86	77.63	33.93	27.03	30.48	30.67	32.20	23.38	26.83	28.56	411.32
1995	57.69	59.23	48.88	26.26	28.94	27.03	18.75	16.23	15.85	14.76	17.65	42.36	373.62
1996	38.72	44.08	38.72	19.36	34.31	53.67	47.34	25.30	33.54	27.79	34.12	29.33	426.27
1997	33.73	34.31	38.14	31.63	52.52	47.92	45.43	41.98	48.68	36.42	29.71	29.71	470.16
1998	82.03	86.44	68.81	31.82	47.73	53.48	50.41	50.03	42.93	31.63	59.23	81.27	685.78
1999	33.16	43.70	43.32	50.41	53.86	53.09	44.66	48.30	56.54	46.00	38.33	35.65	547.02
2000	54.43	54.43	40.25	34.69	37.57	41.02	56.73	45.62	28.75	27.03	33.93	31.43	485.88
2001	19.93	21.28	20.13	31.43	30.09	32.20	33.73	36.42	23.96	11.10	9.99	13.80	284.05
2002	34.31	16.48	16.04	11.39	6.96	8.22	7.11	6.79	7.13	4.95	8.86	19.13	147.35
2003	50.98	53.28	36.03	22.43	21.85	39.10	22.43	20.70	17.86	5.75	20.51	31.63	342.55
2004	53.28	59.80	35.08	30.09	29.71	39.87	36.42	4.56	10.56	6.34	27.41	40.63	373.75
2005	48.88	34.88	30.67	6.57	5.23	4.70	3.91	7.07	4.12	3.74	17.08	31.43	198.28
2006	53.28	52.13	42.17	6.42	7.03	7.78	25.49	16.12	6.71	3.32	25.88	37.76	284.09
2007	43.70	37.18	40.06	8.97	8.63	15.87	25.30	11.77	6.19	12.67	17.17	33.54	261.05
2008	22.23	28.75	16.60	2.89	4.89	3.68	19.36	7.71	1.00	2.47	18.92	15.47	143.97
2009	42.93	35.84	28.37	9.05	13.23	7.28	12.71	2.95	2.09	2.49	12.94	35.08	204.95
2010	47.92	54.24	17.90	2.61	8.74	3.60	8.41	8.41	19.36	37.18	57.69	50.22	316.29
2011	53.48	56.73	45.62	16.22	34.50	35.08	55.97	40.63	59.03	11.71	28.37	52.13	489.46
<b>ORTALAMA</b>	44.78	46.52	38.36	26.67	27.10	29.25	32.22	25.86	25.01	20.27	29.94	34.77	380.75

Tablo 4.4. Baraj için aylık ortalama akım değerleri (Boyabat Barajı)

SU YILI	AYLAR												TOPLAM
	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	
1990	44.87	62.86	65.34	43.21	29.57	33.50	35.77	29.36	31.22	33.50	35.77	31.84	476.80
1991	39.49	45.49	32.46	65.34	52.93	40.53	47.14	55.21	46.11	26.67	30.81	28.74	510.91
1992	40.53	52.10	40.94	40.11	34.53	41.56	44.66	48.18	34.32	37.01	35.15	33.91	483.00
1993	70.92	70.30	83.74	31.43	30.19	38.66	49.62	26.47	32.46	50.86	86.01	41.35	612.02
1994	35.56	39.70	33.29	83.74	36.60	29.15	32.88	33.08	34.74	25.23	28.95	30.81	443.71
1995	62.24	63.89	52.72	28.33	31.22	29.15	20.22	17.51	17.10	15.92	19.04	45.69	403.04
1996	41.77	47.56	41.77	20.88	37.01	57.89	51.07	27.29	36.18	29.98	36.80	31.63	459.84
1997	36.39	37.01	41.15	34.12	56.65	51.69	49.00	45.28	52.52	39.29	32.05	32.05	507.19
1998	88.49	93.25	74.23	34.32	51.48	57.69	54.38	53.97	46.31	34.12	63.89	87.67	739.80
1999	35.77	47.14	46.73	54.38	58.10	57.27	48.18	52.10	61.00	49.62	41.35	38.46	590.10
2000	58.72	58.72	43.42	37.42	40.53	44.25	61.20	49.21	31.01	29.15	36.60	33.91	524.14
2001	21.50	22.95	21.71	33.91	32.46	34.74	36.39	39.29	25.85	11.97	10.77	14.89	306.42
2002	37.01	17.78	17.31	12.28	7.51	8.87	7.67	7.32	7.69	5.33	9.55	20.63	158.96
2003	55.00	57.48	38.87	24.19	23.57	42.18	24.19	22.33	19.27	6.20	22.12	34.12	369.53
2004	57.48	64.51	37.84	32.46	32.05	43.01	39.29	4.92	11.39	6.84	29.57	43.83	403.19
2005	52.72	37.63	33.08	7.09	5.64	5.07	4.22	7.63	4.45	4.03	18.42	33.91	213.90
2006	57.48	56.24	45.49	6.93	7.59	8.39	27.50	17.39	7.24	3.58	27.91	40.73	306.46
2007	47.14	40.11	43.21	9.68	9.30	17.12	27.29	12.70	6.68	13.67	18.53	36.18	281.61
2008	23.98	31.01	17.91	3.12	5.27	3.97	20.88	8.31	1.08	2.67	20.41	16.69	155.31
2009	46.31	38.66	30.60	9.76	14.27	7.86	13.71	3.18	2.25	2.69	13.96	37.84	221.09
2010	51.69	58.51	19.31	2.81	9.43	3.89	9.08	9.08	20.88	40.11	62.24	54.17	341.20
2011	57.69	61.20	49.21	17.49	37.22	37.84	60.37	43.83	63.68	12.63	30.60	56.24	528.01
<b>ORTALAMA</b>	48.31	50.19	41.38	28.77	29.23	31.56	34.76	27.89	26.97	21.87	32.30	37.51	410.74

Tablo 4.5. Baraj için aylık ortalama akım değerleri (Altinkaya Barajı)

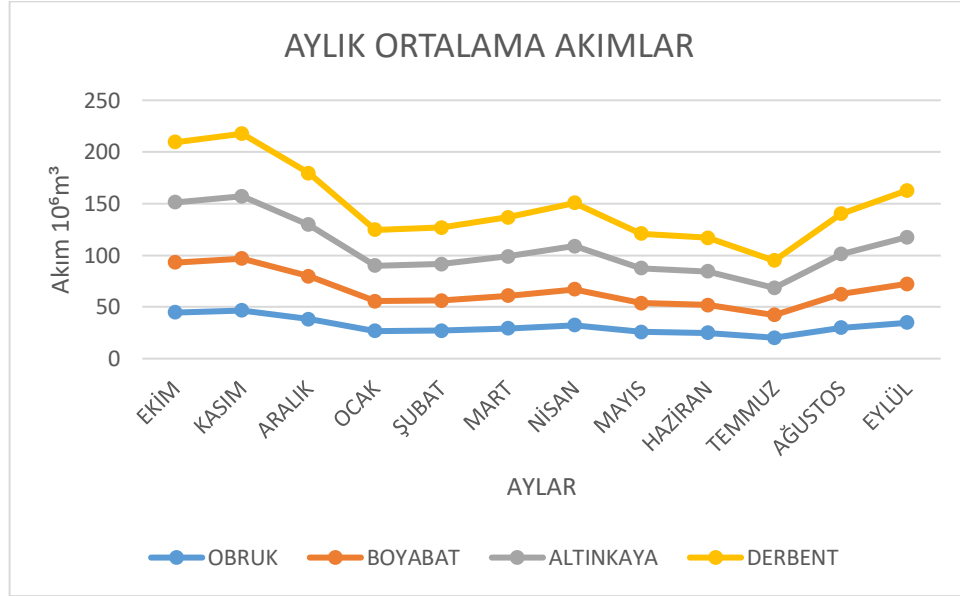
SU YILI	AYLAR												TOPLAM
	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	
1990	54.03	75.69	78.68	52.04	35.61	40.34	43.08	35.36	37.60	40.34	43.08	38.35	574
1991	47.56	54.78	39.09	78.68	63.74	48.80	56.77	66.48	55.53	32.12	37.10	34.61	615
1992	48.80	62.75	49.30	48.31	41.58	50.05	53.78	58.02	41.33	44.57	42.33	40.84	582
1993	85.41	84.66	100.84	37.85	36.35	46.56	59.76	31.87	39.09	61.25	103.58	49.80	737
1994	42.83	47.81	40.09	100.84	44.07	35.11	39.59	39.84	41.83	30.38	34.86	37.10	534
1995	74.95	76.94	63.49	34.11	37.60	35.11	24.35	21.09	20.59	19.17	22.93	55.03	485
1996	50.30	57.27	50.30	25.15	44.57	69.72	61.50	32.87	43.57	36.10	44.32	38.10	554
1997	43.82	44.57	49.55	41.08	68.22	62.25	59.01	54.53	63.24	47.31	38.59	38.59	611
1998	106.57	112.30	89.39	41.33	62.00	69.47	65.49	64.99	55.78	41.08	76.94	105.57	891
1999	43.08	56.77	56.27	65.49	69.97	68.97	58.02	62.75	73.45	59.76	49.80	46.31	711
2000	70.71	70.71	52.29	45.07	48.80	53.29	73.70	59.26	37.35	35.11	44.07	40.84	631
2001	25.90	27.64	26.14	40.84	39.09	41.83	43.82	47.31	31.12	14.42	12.97	17.93	369
2002	44.57	21.41	20.84	14.79	9.04	10.68	9.24	8.81	9.26	6.42	11.50	24.85	191
2003	66.23	69.22	46.81	29.13	28.39	50.80	29.13	26.89	23.21	7.47	26.64	41.08	445
2004	69.22	77.69	45.57	39.09	38.59	51.79	47.31	5.93	13.72	8.24	35.61	52.79	486
2005	63.49	45.32	39.84	8.54	6.80	6.10	5.08	9.19	5.35	4.86	22.19	40.84	258
2006	69.22	67.73	54.78	8.34	9.14	10.11	33.12	20.94	8.71	4.31	33.61	49.05	369
2007	56.77	48.31	52.04	11.65	11.20	20.62	32.87	15.29	8.04	16.46	22.31	43.57	339
2008	28.88	37.35	21.56	3.76	6.35	4.78	25.15	10.01	1.30	3.21	24.58	20.09	187
2009	55.78	46.56	36.85	11.75	17.18	9.46	16.51	3.83	2.71	3.24	16.81	45.57	266
2010	62.25	70.47	23.26	3.39	11.35	4.68	10.93	10.93	25.15	48.31	74.95	65.24	411
2011	69.47	73.70	59.26	21.07	44.82	45.57	72.71	52.79	76.69	15.21	36.85	67.73	636
<b>ORTALAMA</b>	<b>58.17</b>	<b>60.44</b>	<b>49.83</b>	<b>34.65</b>	<b>35.20</b>	<b>38.00</b>	<b>41.86</b>	<b>33.59</b>	<b>32.48</b>	<b>26.33</b>	<b>38.89</b>	<b>45.18</b>	<b>494.63</b>

Tablo 4.6. Baraj için aylık ortalama akım değerleri (Derbent Barajı)

SU YILI	AYLAR												TOPLAM
	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	
1990	54.03	75.69	78.68	52.04	35.61	40.34	43.08	35.36	37.60	40.34	43.08	38.35	574
1991	47.56	54.78	39.09	78.68	63.74	48.80	56.77	66.48	55.53	32.12	37.10	34.61	615
1992	48.80	62.75	49.30	48.31	41.58	50.05	53.78	58.02	41.33	44.57	42.33	40.84	582
1993	85.41	84.66	100.84	37.85	36.35	46.56	59.76	31.87	39.09	61.25	103.58	49.80	737
1994	42.83	47.81	40.09	100.84	44.07	35.11	39.59	39.84	41.83	30.38	34.86	37.10	534
1995	74.95	76.94	63.49	34.11	37.60	35.11	24.35	21.09	20.59	19.17	22.93	55.03	485
1996	50.30	57.27	50.30	25.15	44.57	69.72	61.50	32.87	43.57	36.10	44.32	38.10	554
1997	43.82	44.57	49.55	41.08	68.22	62.25	59.01	54.53	63.24	47.31	38.59	38.59	611
1998	106.57	112.30	89.39	41.33	62.00	69.47	65.49	64.99	55.78	41.08	76.94	105.57	891
1999	43.08	56.77	56.27	65.49	69.97	68.97	58.02	62.75	73.45	59.76	49.80	46.31	711
2000	70.71	70.71	52.29	45.07	48.80	53.29	73.70	59.26	37.35	35.11	44.07	40.84	631
2001	25.90	27.64	26.14	40.84	39.09	41.83	43.82	47.31	31.12	14.42	12.97	17.93	369
2002	44.57	21.41	20.84	14.79	9.04	10.68	9.24	8.81	9.26	6.42	11.50	24.85	191
2003	66.23	69.22	46.81	29.13	28.39	50.80	29.13	26.89	23.21	7.47	26.64	41.08	445
2004	69.22	77.69	45.57	39.09	38.59	51.79	47.31	5.93	13.72	8.24	35.61	52.79	486
2005	63.49	45.32	39.84	8.54	6.80	6.10	5.08	9.19	5.35	4.86	22.19	40.84	258
2006	69.22	67.73	54.78	8.34	9.14	10.11	33.12	20.94	8.71	4.31	33.61	49.05	369
2007	56.77	48.31	52.04	11.65	11.20	20.62	32.87	15.29	8.04	16.46	22.31	43.57	339
2008	28.88	37.35	21.56	3.76	6.35	4.78	25.15	10.01	1.30	3.21	24.58	20.09	187
2009	55.78	46.56	36.85	11.75	17.18	9.46	16.51	3.83	2.71	3.24	16.81	45.57	266
2010	62.25	70.47	23.26	3.39	11.35	4.68	10.93	10.93	25.15	48.31	74.95	65.24	411
2011	69.47	73.70	59.26	21.07	44.82	45.57	72.71	52.79	76.69	15.21	36.85	67.73	636
<b>ORTALAMA</b>	<b>58.17</b>	<b>60.44</b>	<b>49.83</b>	<b>34.65</b>	<b>35.20</b>	<b>38.00</b>	<b>41.86</b>	<b>33.59</b>	<b>32.48</b>	<b>26.33</b>	<b>38.89</b>	<b>45.18</b>	<b>494.63</b>

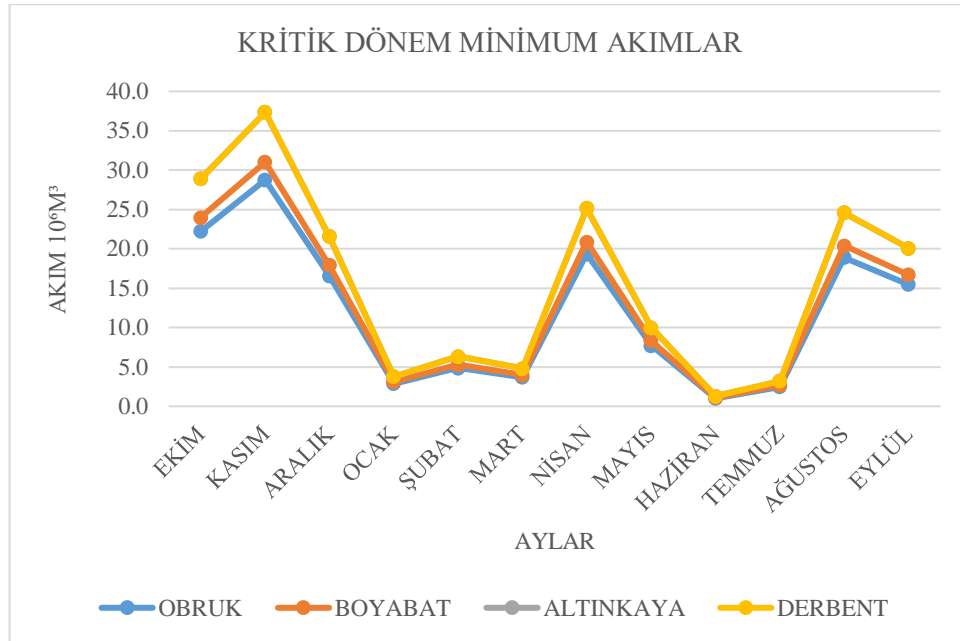


Şekil 4.10.'da barajlar için aylık ortalama akım seviyeleri verilmiştir.



Şekil 4.10. Aylık ortalama akımlar

Şekil 4.11.'de barajlar için kritik dönem minimum akım seviyeleri verilmiştir.



Şekil 4.11. Kritik dönem minimum akımlar

## BÖLÜM 5. AŞAĞI KIZILIRMAK İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

### 5.1. Uzun Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

#### 5.1.1. Güvenilir gücün enbüyüklemesinde modele giren veriler

Güvenilir gücün enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletmede, modele giren veriler: Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı Tablo 5.1.'de, barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar, Tablo 5.2.'de, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri, Tablo 5.3.'de, barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum su miktarları şeklinde verilmektedir.

Kurak dönemin aylık akımları ile yapılan uzun süreli planlama için işletme optimizasyonunda, güvenilir güç enbüyüklenecek şekilde aylık minimum işletme seviyeleri elde edilmeye çalışılmaktadır.

Tablo 5.1. Barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar

BARAJLAR	AYLAR											
	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NISAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
OBRUK	22	29	17	3	5	4	19	8	1	2	19	15
BOYABAT	24	31	18	3	5	4	21	8	1	3	20	17
ALTINKAYA	29	37	22	4	6	5	25	10	1	3	25	20
DERBENT	29	37	22	4	6	5	25	10	1	3	25	20

Tablo 5.2. Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri

İŞLETME SEVİYELERİ	BARAJLAR			
	OBRUK	BOYABAT	ALTINKAYA	DERBENT
$S_i^{Maks}$ ( $10^7$ m <sup>3</sup> )	66	356	576	21
$S_i^{Min}$ ( $10^7$ m <sup>3</sup> )	52	215	287	16

Tablo 5.3. Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarı

Tablo 5.3. Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarı

BARAJLAR	OBRUK	BOYABAT	ALTINKAYA	DERBENT
$Q_i^{Maks}$ ( $10^7$ m <sup>3</sup> /ay)	106	121	176	70

### 5.1.2. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Güvenilir gücün enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde;

Güvenilir güç,  $P_G = 219,367$  MW, maksimum güç,  $P_{Maks} = 220858$  MW

Tablo 5.4.'de, barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları, Tablo 5.5.'te barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları, Tablo 5.6.'da barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri, Tablo 5.7.'de barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri verilmiştir.

Kurak dönemin aylık akımları ile yapılan uzun süreli işletme sonucunda, aylık minimum işletme seviyeleri, güvenilir gücü enbüyükleyecek şekilde belirlenmiştir. Elde edilen aylık minimum işletme seviyelerine bakıldığı zaman, en büyük faydalı hacme sahip olan barajlardaki işletme seviyelerindeki değişim güvenilir gücün enbüyüklenmesinde etkili olmaktadır.

Tablo 5.4. Barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

BARAJLAR	AYLAR											
	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NISAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
OBRUK	36	28	12	7	4	6	13	1	10	7	8	12
BOYABAT	121	19	9	21	20	20	7	19	22	23	8	10
ALTINKAYA	176	30	31	25	27	26	33	28	23	24	33	30
DERBENT	70	69	52	29	32	36	53	38	26	26	57	50

Tablo 5.5. Barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

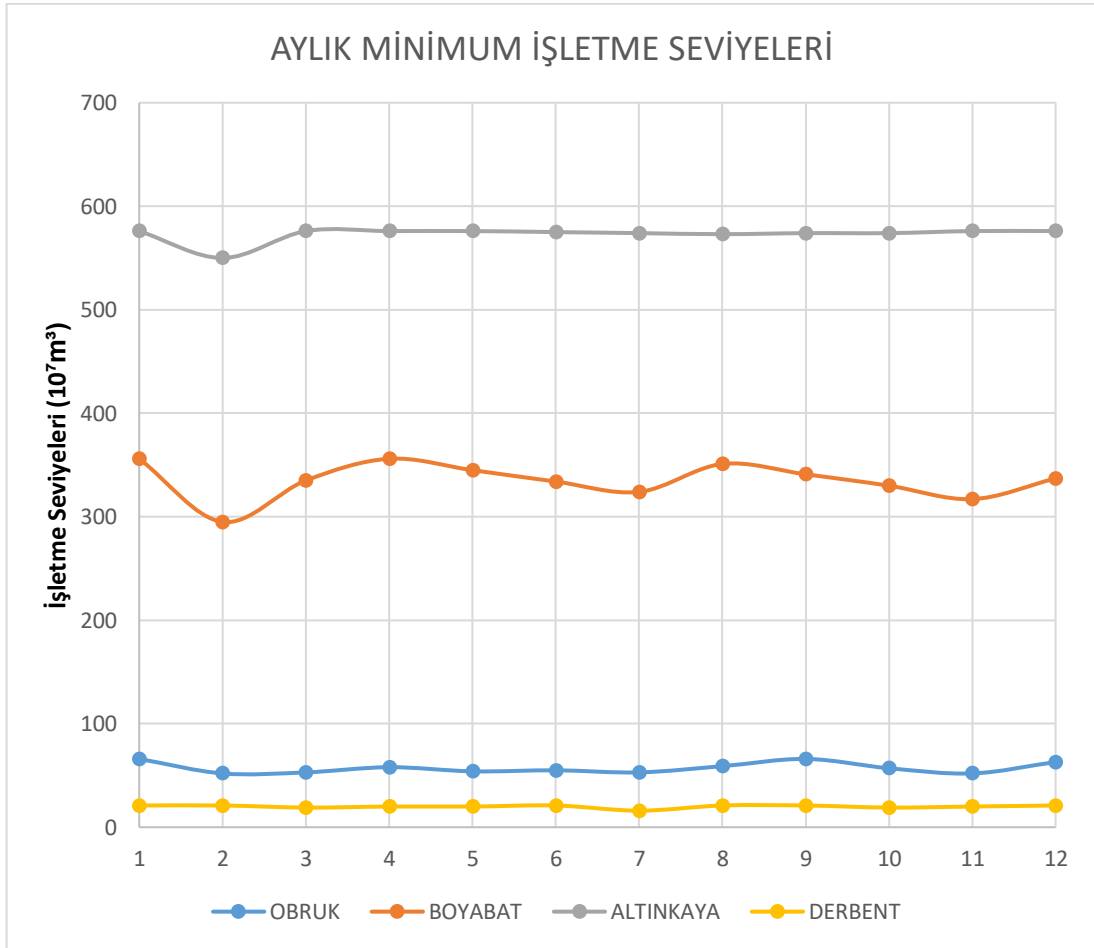
BARAJLAR	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NISAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
OBRUK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOYABAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALTINKAYA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DERBENT	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.6. Barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri

BARAJLAR	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NISAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
OBRUK	66	52	53	58	54	55	53	59	66	57	52	63
BOYABAT	356	295	335	356	345	334	324	351	341	330	317	337
ALTINKAYA	576	550	576	576	576	575	574	573	574	574	576	576
DERBENT	21	21	19	20	20	21	16	21	21	19	20	21

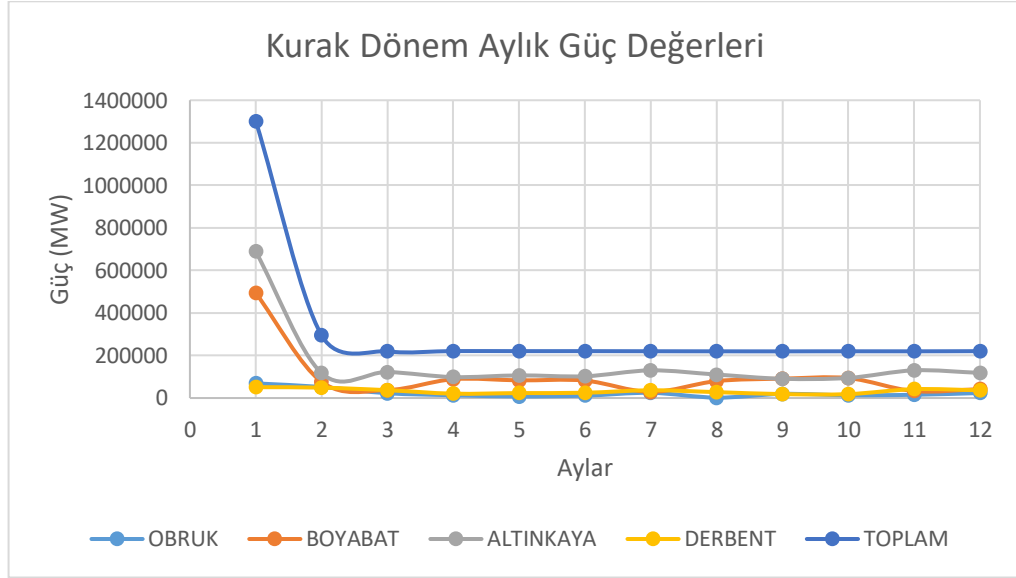
Tablo 5.7. Barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

BARAJLAR	AYLAR											
	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
OBRUK	6.9	5.2	2.3	1.3	0.7	1.1	2.4	0.2	1.9	1.3	1.5	2.4
BOYABAT	49.4	7.6	3.8	8.9	8.3	8.2	2.9	8.0	9.1	9.4	3.3	4.2
ALTINKAYA	68.9	11.7	12.2	9.9	10.6	10.2	13.0	11.0	9.1	9.5	13.0	11.8
DERBENT	5.1	4.9	3.7	2.1	2.3	2.5	3.7	2.8	1.8	1.8	4.2	3.6
TOPLAM	130.2	29.5	21.9	22.1	22.0	22.0	22.0	22.0	21.9	22.0	22.0	22.0



Şekil 5.1. Barajlarda, aylık minimum işletme seviyesi

Kurak dönemde güvenilir enerjinin enbüyüklenmesinde elde edilen aylık minimum işletme seviyeleri ve barajların dolu savağından bırakılan akımlar incelendiğinde Optimizasyon sürecini büyük hacimli barajlar yönetmiştir.



Şekil 5.2. Kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

### 5.1.3. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modele giren veriler

Toplam enerjinin enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli planlama için işletme optimizasyonunda, modele girilen veriler

Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı, Tablo 5.8.'de barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar, Tablo 5.2.'de barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri, Tablo 5.3.'te, barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları

Güvenilir güç,  $G P = 219,367$  MW şeklinde verilmektedir.

Aylık ortalama akımlar ile yapılan uzun süreli işletmede, ilk olarak, kurak dönemde yapılan işletme sonucunda elde edilen güvenilir güç, modelde kısıt olarak

kullanılmakta ve toplam enerjinin enbüyüklenmesine çalışılmaktadır. Buradan, aylık normal işletme seviyeleri elde edilmektedir.

Tablo 5.8. Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar

BARAJLAR	AYLAR											
	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
OBRUK	45	47	38	27	27	29	32	26	25	20	30	35
BOYABAT	48	50	41	29	29	32	35	28	27	22	32	38
ALTINKAYA	58	60	50	35	35	38	42	34	32	26	39	45
DERBENT	58	60	50	35	35	38	42	34	32	26	39	45

#### 5.1.4. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Toplam enerjinin enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde; Minimum güç,  $P_{min} = 548,987$  MW, ortalama güç,  $P_{ort} = 816318$  MW, maksimum güç,  $P_{maks} = 1,160,044$  MW

Tablo 5.9.'da barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları verilmiştir.

Tablo 5.9. barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

BARAJLAR	AYLAR											
	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
OBRUK	46	46	38	28	26	30	31	27	24	20	31	34
BOYABAT	95	95	80	56	55	63	65	56	50	43	62	72
ALTINKAYA	153	156	129	91	90	101	108	89	82	70	100	117
DERBENT	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70

Tablo 5.10.'da barajlardan dolu savaktan bırakılan su miktarları verilmiştir.

Tablo 5.10. Barajlardan dolu savağtan bırakılan su miktarları,

BARAJLAR	AYLAR											
	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
OBRUK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOYABAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALTINKAYA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DERBENT	141	146	109	56	55	69	80	53	44	26	69	92

Tablo 5.11.'de barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri verilmiştir.

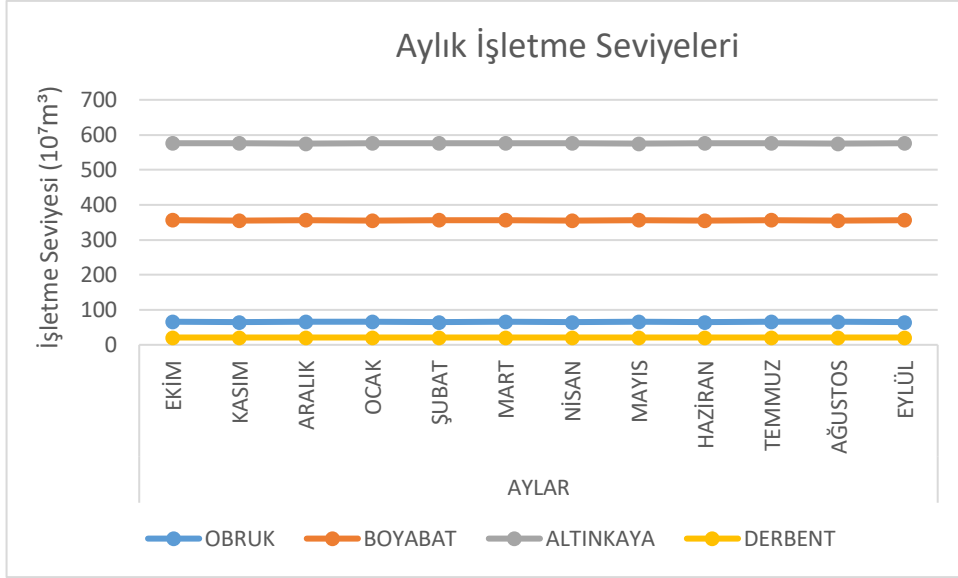
Tablo 5.11. Barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri,

BARAJLAR	AYLAR											
	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
OBRUK	66	65	66	66	65	66	65	66	65	66	66	65
BOYABAT	356	355	356	355	356	356	355	356	355	356	355	356
ALTINKAYA	576	576	575	576	576	576	576	575	576	576	575	576
DERBENT	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

Tablo 5.12.'de barajların aylık güç değerleri verilmiştir.

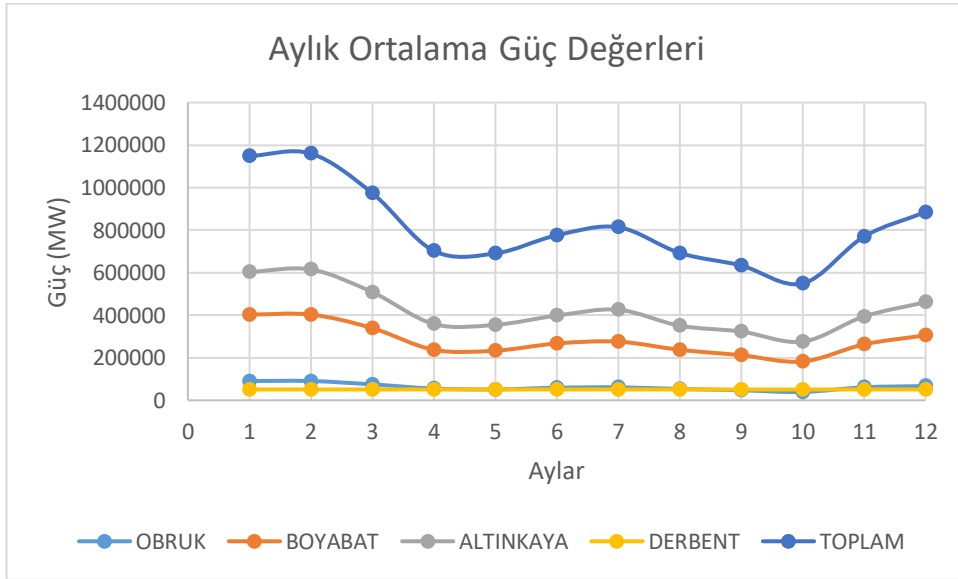
Toplam enerjinin en büyüklenmesinde elde edilen aylık normal işletme seviyeleri ve barajların dolu savağından bırakılan akımlar incelendiğinde işletme seviyelerinde değişim olmadığı son barajın dolu savağından akım bırakıldığı görülmüştür. Bu durum son baraja ek bir kurulu güç ilavesi veya son barajdan sonra yeni bir baraj yapılması öngörülebilir anlamına gelmektedir.





Şekil 5.3. Barajlarda, aylık normal işletme seviyesi

Şekil 5.3.'de aylık normal işletme seviyeleri verilmiştir.



Şekil 5.4. Barajlara ait aylık ortalama güç değerleri

Şekil 5.4.'de aylık ortalama güç değerleri verilmiştir.

Tablo 5.12. Barajların aylık güç değerleri verilmiştir.

BARAJLAR	AYLAR											
	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
OBRUK	9.080	9.080	7.501	5.527	5.132	5.922	6.119	5.330	4.738	3.948	6.119	6.712
BOYABAT	40.308	40.308	33.944	23.761	23.336	26.731	27.579	23.761	21.215	18.245	26.306	30.549
ALTINKAYA	60.328	61.511	50.865	35.882	35.487	39.825	42.585	35.093	32.333	27.601	39.430	46.133
DERBENT	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105	5.105
TOPLAM	114.821	116.004	97.415	70.274	69.061	77.582	81.388	69.288	63.390	54.899	76.961	88.499

Barajlara havzasından gelen aylık akımlar, aylık normal işletme seviyelerinde karşılandığı zaman, barajlardan bırakılan akımlarının tümü enerji üretimi için bırakılmıştır.

## 5.2. DSİ Yaklaşımından Elde Edilen Sonuçlar

DSİ yaklaşımına göre elde edilen güvenilir güç değerleri Tablo 5.13.'te verilmiştir. Yine DSİ yaklaşımına göre ortalama güç değerleri Tablo 5.14.'te verilmiştir.

Güvenilir güç,  $P_G = 3,08 \cdot 10^{-3} (V_a/L + q_{min}) (h_{min} + 2/3 h_a)$

Ortalama güç,  $P_{ort} = 3,08 \cdot 10^{-3} q_{ort} \cdot \sum_{i=1}^n 4 \cdot h_{i,max}$

Tablo 5.13. Barajların Dsi yaklaşımına göre güvenilir güç değerleri, P<sub>G</sub> (MW)

BARAJLAR	V <sub>a</sub> (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	q <sub>min</sub> (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	h <sub>min</sub> (m)	h <sub>a</sub> (m)	P <sub>G</sub> (MW)
OBRUK	137	1	60	4	2.2
BOYABAT	1410	1.08	112.1	25	50.32
ALTINKAYA	2892	1.3	99	30	114.83
DERBENT	4855	1.3	20.3	5.5	38.82
				TOPLAM	206.17

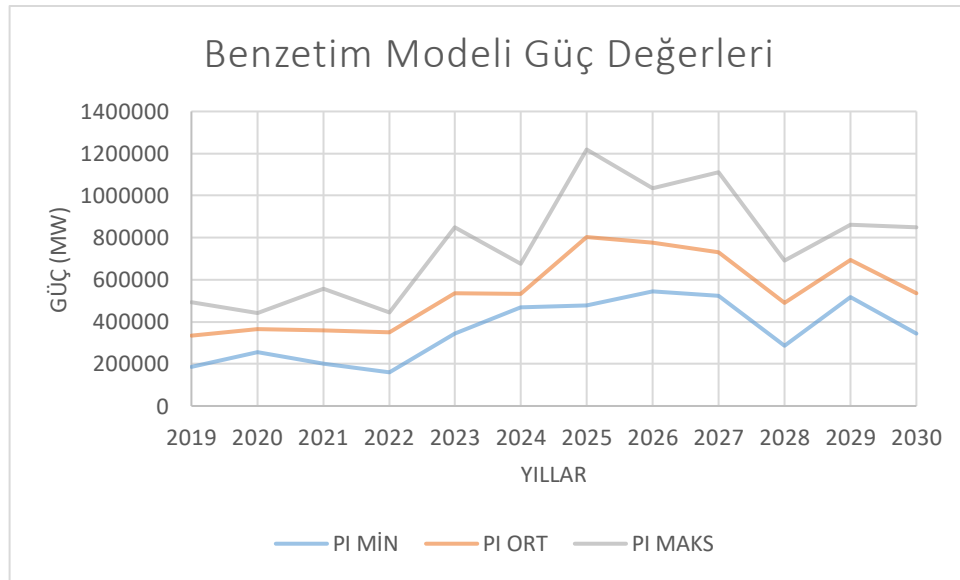
Tablo 5.14. Barajların Dsi yaklaşımına göre ortalama güç değerleri

BARAJLAR	$q_{ort}(10^6m^3)$	$h_{maks}(m)$	$\sum q_{ort}.h_{maks}$	$q_{ort}(10^6m^3)$	$\sum h_{maks}(m)$	$P_{ort}(MW)$
OBRUK	317.2	64	20294.4			
BOYABAT	342.25	137.1	46922.4	375.7	355.9	411.83
ALTINKAYA	412.19	129	53172.5			
DERBENT	412.19	25.8	10634.5			

Sonuç olarak, optimizasyon modelinde kurak dönem akımlarıyla güvenilir gücün enbüykenmesinde elde edilen güç, DSİ yaklaşımından elde edilen güç değerinden %6 kadar büyük olduğu ve aylık ortalama akımlar ile toplam enerjinin enbüykenmesinde elde edilen güç, DSİ yaklaşımından elde edilen güç değerinden %98 kadar büyük olduğu görülmüştür.

### 5.3. Benzetim Modeli Elde Edilen Sonuçlar

Benzetim modelinden elde edilen yıllık güç değerleri 2019-2030 yılı için Şekil 5.15.'de vermiştir.



Şekil 5.6. 2019-2030 yılları arası yıllık maksimum ve minimum güç değerleri

Benzetim modelinden elde edilen ortalama güç değeri optimizasyon medelinde aylık ortalama akımlar ile toplam enerjinin en büyüklemesinde elde edilen ortalama güç değerinden %50 küçük olduğu ve aylık ortalama akımlar ile toplam enerjinin en büyüklemesinde elde edilen minimum güç değerinden %52 küçük olduğu görülmüştür.

## BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir akarsu havzasında birbirine seri olarak bağlanmış çok barajlı ve çok amaçlı bir su kaynakları sistemi, matematiksel olarak tanımlanmış ve bu sistem üzerine ardışık yaklaşımlı dinamik programlama tekniğinin kullanıldığı uzun süreli optimal işletme modeli geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

1. Optimizasyon modelinde güvenilir ve toplam enerjinin enbüykenmesinde elde edilen değer, DSİ yaklaşımından elde edilen değerden daha büyük olduğu görülmüştür.
2. Benzetim modelinden elde edilen ortalama güç değeri optimizasyon modelinden elde edilen değerlerden çok küçük olduğu tespit edilmiştir.
3. Kurak dönemde optimizasyon sürecini büyük hacimli barajlar yönetmiştir.
4. Aylık ortalama akımlar ile yapılan optimal işletme neticesinde sisteme yeni bir baraj ilavesi veya son baraja kurulu güç artırımı söz konusudur. Ayrıca dolu savaktan bırakılan su diğer amaçlara (sulama, su temini gibi) hizmet ettiği düşünülebilir.
5. Benzetim modelinde kullanılan tahmini akımlar gerçek akımlara benzerliği konusunda daha hassas çalışılması gerekmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] Güvel Ş., P., Ceyhan ve Seyhan Havzaları'nın Hec-5 programı ile taşkın kontrolü ve enerji optimizasyonu amaçlı simulasyonu, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1997.
- [2] Opan M., Çok barajlı sistemlerde çok amaçlı optimal işletme, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2007.
- [3] Sert M., Kızıltan G., Dalgıç A. İ., Karadeniz M., Ünal A. U., Uşkay S., Bir akarsu üzerindeki bir seri hidroelektrik tesisin optimal boyutlandırma ve işletilmesi, Munzur Suyu Projesi Uygulaması, TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, Yöneylem Araştırması Bölümü, Gebze-Kocaeli, 1982.
- [4] Sert M., Öcal M., Oktay N., Ertuğrul M., Sakarya Havzası optimal enerji üretimi projesi, TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, Yöneylem Araştırması Bölümü, Gebze-Kocaeli, 1983.
- [5] Yakowitz, S., Dynamic programming applications in water resources, Water Resources Research, 18-3, 673-696, 1982.
- [6] Yeh, W., Reservoir management and operations models: A state-of-the-art review, Water Resources Research, 21-12, 1797-1818, 1985.
- [7] Yurtal R., Çoklu baraj sistemlerinin enerji optimizasyonu için geliştirilmiş etkin bir artırımlı dinamik programlama modeli ve aşağı Seyhan Havzası'na uygulanması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1993.
- [8] Al-janabi A., Orta Sakarya nehri üzerindeki çoklu barajların yönetimi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2018.
- [9] Bacaksız E., Yeşilirmak Havzasında bulunan çok barajlı bir su kaynakları sisteminde optimal enerji üretimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018.
- [10] Duranyıldız İ., Kısa Süreli Hazne İşletme Optimizasyonu İçin Sans Kısıtlı LP Modeli, J. of Engineering and Environmental Science, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1999.

- [11] Labadie j., (2004), “Optimal Operation of Multi-reservoir Systems: State-of-the-Art Review”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 130, No. 2 DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130:2(93).
- [12] Brandão J., (2010), “Stochastic differential dynamic programming for multi-reservoir system control”, *Water Resour Management*, vol.24, pp.3101-3114.
- [13] Kougiass I. And Theodossiou N., (2011) , “Optimization of multi-reservoir management using Harmony Search Algorithm (HAS)”, *Division of Hydraulics and Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki*, 541 24 Thessaloniki, Greece.
- [14] Guo Shenglian., Chen J., Li Y., Liu P. and Li T., (2011) , “Joint Operation of the Multi-Reservoir System of the Three Gorges and the Qingjiang Cascade Reservoirs”, *Energies* 2011, 4, 1036-1050; doi:10.3390/en4071036.
- [15] Arunkumar R. And Jothiprakash V., (2013), “Chaotic Evolutionary Algorithms for Multi-Reservoir Optimization”, *Water Resour Management* DOI 10.1007/s11269-013-0463-4.
- [16] Wang F., Oliver C., Valeriano s. And Sun X., (2013), “Near Real-Time Optimization of Multi-Reservoir during Flood Season in the Fengman Basin of China”, *Water Resour Manage* (2013)27:4315–4335 DOI:10.1007/s11269013-04104.
- [17] Li X., Wei J., Li T., Wang G. And Yeh W., (2014), “A parallel dynamic programming algorithm for multi-reservoir system optimization”, *Advances in Water Resources*, vol.67, pp.1–15.
- [18] Hajiabadi R. and Zarghami M., (2014), “Multi-Objective Reservoir Operation with Sediment Flushing; Case Study of Sefidrud Reservoir”, *Water Resour Manage* vol. 28, pp. 5357–5376.
- [19] Heydari M., Othman F. and Qaderi K., (2014), “Developing optimal reservoir operation for multiple and multi-purpose reservoir using mathematical programming”, *Mathematical Problems in Engineering*, doi:10.1155/2015/435752.
- [20] Ming B., Chang J., Huang Q., Wang Y. and Huang S., (2015), “Optimal Operation of Multi-Reservoir System Based-On Cuckoo Search Algorithm”, *Water Resour Management*, vol. 29, pp. 5671–5687.
- [21] Mao J., Zhang P., Dai L., Dai H. and Hu T., (2016), “Optimal operation of a multi-reservoir system for enviromental water demand of a river connected lake”, *Hydrology Research*, doi:10.2166/nh.2016.043.

- [22] Lin N. and Rutten M., (2016), “Optimal Operation of a Network of MultiPurpose Reservoir”, *Procedia Engineering* 154 ( 2016 ) 1376 – 1384.
- [23] Müller R. and Schütze N., (2016) , “Multi-objective optimization of multipurpose multi-reservoir systems under high reliability constraints”, *Environ Earth Sci* DOI 10.1007/s12665-016-6076-5.
- [24] Gu W., Shao D., Tan X., Shu C. and Wu Z., (2017), “Simulation and Optimization of Multi-Reservoir Operation in Inter-Basin Water Transfer System”, *Water Resour Management*, DOI 10.1007/s11269-017-1675-9.
- [25] Ji C., Li C., Wang B., Liu M. And Wang L., (2017), “Multi-Stage Dynamic Programming Method for Short-Term Cascade Reservoirs Optimal Operation with Flow Attenuation”, *Water Resour Manage*, vol.31 pp.4571–4586.
- [26] Ahmadianfar I., Koucheksaraee A. And Haddad O., (2017), “Extracting Optimal Policies of Hydropower Multi-Reservoir Systems Utilizing Enhanced Differential Evolution Algorithm”, *Water Resour Manage* doi:10.1007/s11269017-1753z.
- [27] Ashrafi S. and Dariane A., (2017), “Coupled Operating Rules for Optimal Operation of Multi-Reservoir Systems”, *Water Resour Management*, DOI 10.1007/s11269-017-1762-y.
- [28] Sangiorgio M., and Guariso G., (2018), “NN-Based Implicit Stochastic Optimization of Multi-Reservoir Systems Management”, *Water*, vol.10, pp.303; doi:10.3390/w10030303.
- [29] Asiabar M., Ghodsypour S. And Kerachian R., (2009) , “Deriving operating policies for multi-objective reservoir systems:Application of Self-Learning Genetic Algorithm”, *Applied Soft Computing* 10 (2010) 1151–1163.
- [30] Dessalegne T. and Nicklow J.W., (2012), “Artificial life algorithm for management of multi-reservoir river system”, *Water Resources Management*, vol. 26, no. 5, pp. 1125-1141.
- [31] Xu B., Zhong P., Wan X., Zhang W. and Chen X., (2012) , “Dynamic Feasible Region Genetic Algorithm for Optimal Operation of a Multi-Reservoir System”, *Energies* 2012, 5, 2894-2910; doi:10.3390/en5082894.
- [32] Olukanni D.O., Adejumo T.A., Salami A.W. and Adedeji A.A., (2018), “Optimization based reliability of multi-purpose reservoir by genetic algorithms: Jebba Hydropower Dam, Nigeria”, *Cogent Engineering*, doi:10.1080/23311916.2018.1438740.
- [33] <https://tr.wikipedia.org/wiki/K%C4%B1z%C4%B1rmak#/media/File:Kizilirmak-map.jpg> Erişim Tarihi: 07.04.2019.



- [34] <http://www.dsi.gov.tr/haberler/2016/12/12/%C3%A7orum-da-60-bin-dekar-zirai-alan-suya-kavu%C5%9Fuyor> Erişim Tarihi: 07.04.2019.
- [35] <http://www.suyapi.com.tr/tr/18853/Boyabat-Baraji-ve-HES> Erişim Tarihi: 07.04.2019.
- [36] <https://www.altinovagazete.com/guncel/altinkaya-baraji-kapilarini-actih2893.html> Erişim Tarihi: 07.04.2019.
- [37] <https://www.enerjiatlasi.com/hidroelektrik/derbent-baraji.html> Erişim Tarihi: 07.04.2019.

## EKLER

### EK A: Uzun dönemli işletme modeli için bilgisayar programı

Bu işletme modeline ait bilgisayar programının yapısında, ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama optimizasyon tekniği kullanılmaktadır. Burada amaç fonksiyonu, kritik dönem gözetilerek bu döneme ait aylık akımlarla güvenilir enerjinin enbüyüklenmesi ve sonrasında kritik dönemden elde edilen güvenilir enerjiyi kısıt olarak kullanılarak aylık ortalama akımlarla toplam enerjinin en büyüklenmesi şeklindedir. Modelde öngörülen amaca uygun olarak program, C tabanlı MATLAB ortamında hazırlanmıştır. Program, boyutların uygun şekilde ayarlanmasıyla, birbirine seri olarak bağlı ve istenen sayıda enerji amaçlı depolamalı barajının oluşturduğu su kaynakları sistemine kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Bilgisayar programı, bir ana program ve beş alt programdan oluşmaktadır. Programın yapısı ve ana programla alt programların birbiri ile ilişkileri Şekil EK A.1.'de verilmiştir. Bilgisayar programının ana program ve alt programın dosya ismi uzantıları \*.m şeklinde olup, giren ve çıkan verilerin dosya ismi uzantıları \*.mat şeklindedir.

### Uzun dönemli işletme modeli için bilgisayar programının yapısı

Ana programda ve alt programlarda kullanılan değişkenler aşağıda verildiği gibidir.

M :Baraj sayısı

KM :Optimizasyon süresindeki dönem sayısı (ay)

IW :Başlangıç işletme politikasının belirli olup olmadığını gösteren bir parametre, IW=1 ise belirli, IW=0 ise belirsiz

PK :Güç katsayısı

PGV :Hidroelektrik sistemin sağlanması istenilen en küçük güç (güvenilir güç)

FF :Primer enerji birim fiyatı

FS :Sekonder enerji birim fiyatı

KV(i) :i-barajında minimum depolanan su miktarı (107 m<sup>3</sup>)

IV(i) :i-barajında maksimum depolanan su miktarı (107 m<sup>3</sup>)

IQM(i) :i-barajından enerji için bırakılabilecek maksimum su miktarı (107 m<sup>3</sup>)

HT(i,j) :i-barajında jx107 m<sup>3</sup> depolanan su miktarına karşılık gelen su yüksekliği (m)

JF(i,j) :i-barajına j-zamandaki havzasından gelen su miktarı (107 m<sup>3</sup>)

IS(i,j) :i-barajında j-zamandaki depolanan su miktarı (107 m<sup>3</sup>) (Durum değişkeni)

IQ(i,j) :i-barajında j-zamanda enerji üretimi için bırakılan su miktarı (107 m<sup>3</sup>) (Karar değişkeni)

IR(i,j) :i-barajında j-zamanda dolu savaktan bırakılan su miktarı (107 m<sup>3</sup>)

IQS(JS,k):Bir önceki yinelemede JS-barajında k-zamanda bırakılmasına karar verilmiş su miktarı (107 m<sup>3</sup>)

PORT(i):i-barajında üretilen ortalama güç

PMIN(i):i-barajında üretilen en küçük güç

PMAX(i):i-barajında üretilen en büyük güç

SPIU(i,j):i-durum değişkeni değerinde j-karar değişkenindeki aşama faydası

PI(i,k) :i-durum değişkeni değerinde k-aşamasındaki en iyi aşama faydası

IC(i,k) :i-durum değişkeni değerinde k-aşamadaki en iyi aşama faydasını veren karar değişkeni değeri

JS :Eniyileme yapılmak üzere ele alınmış durum değerini belirleyen gösterge

KT :Alt program FEASU' e tarafından alt program DYNAU tarafından ele alınmış aşamayı bildirmek için kullanılan aşama göstergesi

IFS :Alt program FEASU tarafından alt program DYNAU' ya belirli bir durum değişkeni-karar değişkeni kümesinin olurlu olup olmadığı bildirmek için kullanılan olurluk göstergesi, IFS=1 ise olursuz, IFS=0 ise olurlu,

ICOUNT:Yineleme sayısının gösteren indis

ITRM :Sonuçlamayı belirleyen indis (her durum değişkeni için çözümün sabit kalmasıyla artmakta olup ITRM=M olduğunda en iyi çözüm bulunmuştur.)

### 1.1. UZUNKZ (Ana Program)

Ana programın yaptığı işlemler şunlardır:

#### 1.Verilerin okunması işlemi

Baraj sayısı (M),

Dönem sayısı (KM),

Başlangıç politikası (IW),

Her bir barajdan bırakılabilecek maksimum su miktarlarının değerleri (IQM),

Her bir barağa ait maksimum ve minimum depolanan su seviyeleri (IV, KV),

Her bir barajın her bir dönem için havzasından gelen su miktarları (JF),

şeklinde olmaktadır.

## 2. Başlangıç politikasının sorgulanması işlemi

Ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama yaklaşımının kısa sürede sonuç vermesi için üretilen başlangıç politikası, her bir barajın her bir dönemi için ya önceden belirlenmiş ya da hesapla belirlenecektir. Başlangıç politikası göstergesi IW ile gösterilmektedir.  $IW=1$  ise, belirli,  $IW=0$  ise, belirli değil ama hesapla belirlenecek demektir. Başlangıç politikasının hesapla belirlenmesi, her bir baraj için depolanmış su miktarı değerinin ona uygun sabit bir değer atanması ile olmaktadır.

Şekil 1.2: Ana program UZUNKZ için genelleştirilmiş akış şeması

## 3. Başlangıç politikası kullanılarak su bırakım miktarlarının hesaplanması işlemi

Su bırakım miktarları, her bir baraj için su dengesi ilişkisinden belirlenmektedir. İlk olarak, dolu savaktan su bırakılmaması öngörülmekte, yani

$$IR(i,j)=0$$

olmakta, aşağıdaki denklemde enerji üretimi için bırakılan su miktarı,

$$IQ(i,j)=JF(i,j)+IS(i,j)-IS(i,j+1) \quad (i=1 \text{ için})$$

$$IQ(i,j)=JF(i,j)+IQ(i-1,j)+IR(i-1,j)+IS(i,j)-IS(i,j+1) \quad (i=2,3,\dots,M \text{ için})$$

şeklinde belirlenmektedir. Enerji için bırakılan su miktarı, enerji üretimi için bırakılacak maksimum su miktarını aşıyorsa,

$$IQ(i,j) > IQM(i)$$

bu durumda buradaki fazla su miktarı dolu savaktan bırakılacak,

$$IR(i,j) = IQ(i,j) - IQM(i)$$

$$IQ(i,j) = IQM(i)$$

şeklinde olup, enerji için bırakılan maksimum su miktarını aşmıyorsa,

$$IR(i,j) = 0$$

olarak başlangıçta öngörülen değer geçerli olacaktır.

4. Başlangıç politikası kullanılarak her bir durum değeri göstergesinde en iyi çözümün belirlenmesi için ana programdan alt program DYNAKZ' ya gidilmektedir. Alt program DYNAKZ ile ilgili açıklamalar Bölüm 1.1.1' de verilmektedir. (i=JS: durum değişkeni göstergesi, JS=1,2,...M: Baraj sayısı)

5. Her durum değeri göstergesinde çözümün sabit kaldığı son çözümün üretilmesi işlemi

Madde 4'de başlangıç politikası kullanılarak her bir durum değeri göstergesinde en iyi çözümün belirlenmesi için ana programdan alt program DYNAKZ' ya gidilmiştir. O zaman, yineleme sayısı baraj sayısı kadar olmuştur. Yani

$$ICOUNT = M$$

olmakta, ancak yineleme işlemi sonucunda çözümün sabit kalıp kalmadığını belirlemek için yineleme işlemine bağlı sonuçlamayı belirleyen ITRM olarak gösterilen bir parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Başlangıçta

ITRM=0

olarak alınmakta, her bir durum için çözüm sabit kaldığında birer birer artmaktadır. Yineleme esnasında çözümün sabit kalıp kalmaması, bir önceki çözüme ait IQ bırakım değerleri,

IQS=IQ

Şeklinde alınıp, çözüm neticesinde,

IQ=IQS

olup olmadığının kontrolü şeklinde gerçekleşmektedir. Eşitlik sürüyorsa çözüm sabitlenmiş, yani

ITRM=ITRM+1

olacaktır. Eşitlik devam etmiyorsa, yeni IQ, IQS e eşitlenerek çözüm yinelenecektir. Bu durumda,

ICOUNT=ICOUNT+1

olmaktadır.

Bu işlemler belirli bir ICOUNT' a ve ITRM=M' ye kadar devam edecektir. Öngörülen ICOUNT' da çözüme ulaşılmadıysa, program sona erdirilip, sonuçlar "Çözüme ulaşamadı" şeklinde ekrana yansımaktadır. Burada, başlangıç politikası ve seçilen ICOUNT değeri, çözüme ulaşmak için sistemin boyutu göz önüne alınarak dikkatle seçilmesi gerekmektedir.

6. Son işlem ise, sonuçların \*.mat uzantılı dosya olarak saklanması ve aynı zamanda ekrana yansıtılması şeklinde gerçekleştirilmektedir.

### 1.1.1. DYNAKZ (Alt Program)

Ana program tarafından çağırılan bu alt program içerisinde, her bir aşamaya ait durum ve karar değişkeni değerlerinin sırayla ele alınarak amaç fonksiyonunda değerlendirildiği bir programdır. DYNAKZ alt programa bağlı diğer alt programlar, FEASKZ, MFIRMKZ ve HKZ şeklindedir.

Burada, yapılan işlemler şunlardır:

1.Son aşamadan başlanarak geriye doğru gidilmesi(geriye doğru dinamik programlama)

2.Ana programdan JS durum değeri göstergesi ile gönderilen değişkenler kullanılarak ve diğer durumlardaki değişkenlerin değeri sabit tutularak her bir ii-durum değişkeni için JL-karar değişkeni değerleri belirlenip alt program FEASKZ'ya olurlu olup olmadıkları belirlemek amacıyla gönderilmektedir. Burada ii-durum değişkeni değeri, JS' e karşılık gelen barajdaki minimum depolanan su miktarından maksimum depolanan su miktarına kadar değişmektedir. JL-karar değişkeni ise, JS

Şekil 1.3: Alt programın DYNAKZ için genelleştirilmiş akış şeması

durum değeri göstergesine karşılık gelen barajda, 0 değeri ile barajdan enerji üretimi için bırakılacak maksimum su miktarı arasında değişmektedir. Yani,

$$KV(JS) < ii < IV(JS) \text{ ve}$$

$$0 < JL < IQM(JS)$$

şeklindedir. Buradaki her bir ii-durum değişkenine ait JL-karar değişkeni söz konusudur.

3. Herhangi bir ii-durum değişkenindeki JL-karar değişkeni ile seçilen IS ve IQ değerleri

$$IS(JS,k) = ii,$$

$$IQ(JS,k) = JL$$

alınarak alt program FEASKZ' e olurlu olup olmadıklarının belirlemek amacıyla gönderilmektedir.

3. HKZ alt programı çağrılıp, buradan gelen güç katsayısı,(PK), enerji birim fiyatları (FF ve FS) yükseklik matrisi ile alt program FEASKZ tarafından olurlu olarak gelen IQ ve IS değerlerini kullanarak, ilk olarak enerji üretilecek depolanmış su seviyesine göre,

$$isl=(IS(JS,k)+IS(JS,k))/2-KV(JS)+1$$

olmakta ve bu değere göre, aşama faydası

$$SPI(ii,JL)=PK*IQ(JS,k)*H(JS,isl)$$

olarak hesaplanmakta ve amaç fonksiyonu ortamında değerlendirilmektedir.

Amaç fonksiyonu iki kriterli olarak şöyledir. Birincisi, kritik dönem gözetilerek, bu döneme ait aylık ortalama akımlarla güvenilir enerjinin enbüyüklenmesi şeklinde ve ikincisi de kritik dönemden elde edilen güvenilir enerjiiyi kısıt olarak kullanılarak aylık ortalama akımlarla toplam enerjinin en büyüklenmesi şeklindedir. İlkine göre bu değerlendirmeye gelince,

$$SPI(ii,JL)>PI(ii,JL) \text{ ise } SPI(ii,JL)=PI(ii,JL)$$

$$IC(ii,JL)=IQ(JS,k)$$

şeklinde olup, bu değerler IC değeri ile saklanmaktadır.

$SPI(ii,JL)<PI(ii,JL)$  ise ii-ye karşılık başka bir JL değerini seçilmekte, yeniden alt program FEASKZ' e gidilmektedir. Ancak ii-durum değişkeni için bütün karar değişkenleri denenmişse, o zaman JS durum değeri göstergesine ait yeni bir ii-durum değişkeni için JL değerleri seçilerek işlemler yürütülmektedir.

İkinci amaç fonksiyonunda ise, aşama faydası,

$$SPI(ii,JL)>PGV$$



güvenilir enerji ile karşılaştırılmakta ve sağlıyorsa, aşama faydası

$$SPI(ii,JL)=((SPI(ii,JL)-PGV)*FS+PGV*FF)*720.+PI(IN,k+1);$$

olarak elde edilip  $(IN=IS(JS,k+1)-LS+1)$ , bu değer,

$$SPI(ii,JL)>PI(ii,JL)$$

öngörülen minimum aşama faydası ile karşılaştırılmakta ve bunu sağlıyorsa,

$$IC(ii,JL)=IQ(JS,k)$$

olarak alınıp, saklanmaktadır. Diğer işlemler ise, yukarıda anlatıldığı gibidir.

Bu işlemler JS-durum değeri göstergesinde, son aşamadan ilk aşamaya kadar her bir durum değişkeninde karar değişkenleri ele alınıp en iyi çözümler elde edilinceye kadar sürdürülmektedir.

#### 4. Alt program DYNKZ' dan alt programı MFIRMKZ' ya gidilmesi

JS-durum değeri göstergesinde, son aşamadan ilk aşamaya kadar her bir durum değişkeninde karar değişkenleri ele alınıp en iyi çözümler elde edildikten sonra, alt program DYNKZ' dan alt program MFIRMKZ' ya gidilmektedir. Burada ise, JS-durum değeri göstergesi altında oluşturulan eniyi çözümler arasından eniyisi seçilerek optimal işletme politikaları belirlenmektedir. Bununla ilgili ayrıntılara alt program MFIRMKZ anlatırken girilecektir.

#### 5. Ana programa geri dönülmesi ile alt program DYNKZ sonlandırılmaktadır.

##### 1.1.2. FEASKZ (Alt Program)

FEASKZ, DYNKZ alt programının çalışması esnasında çağrılan bir alt program olup, bu programda JS-durum değişkeni göstergesine göre seçilen ii-durum değişkeni

ve JL-karar değişkeni ikilisinin (IS, IQ) olurlu olup olmadığını belirlemeye yardımcı olan bir programdır. Bu alt programda, JS-durum değeri göstergesi için seçilen durum ve karar değişkenlerinin olurlu olup olmadığı belirlenirken, diğer barajlarda durum değişkenleri(baraj seviyeleri) sabit tutularak karar değişkenleri(enerji üretimi için bırakım miktarları) elde edilmektedir. Elde edilen değerlerin olurlu olup olmadığının göstergesi olarak IFS parametresi tanımlanmaktadır. Eğer, bu ikili olurlu ise IFS=0, olursuz ise IFS=1 olarak seçilerek, bu durum alt program DYNAKZ' ya bildirilmektedir.

Bu alt programda yapılan işlemler şoyledir. JS-durum değeri göstergesi ile gönderilen durum değişkeni ve karar değişkenleri kullanılarak, JS-durum değişkeni göstergesine karşılık gelen barajda işletme seviyesi belirlenmekte ve bu değer kapasite değerleri ile karşılaştırılarak IFS göstergesinin alacağı değer belirlenmektedir. Yani,

$$IR(JS,k)=0$$

$$IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) \text{ (JS=1 için)}$$

$$IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IQ(JS-1,k)+IR(JS-1,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) \text{ (JS=2,3...M için)}$$

şekil 1.4: Alt programın FEASKZ için genelleştirilmiş akış şeması

belirlenmekte, buradan elde edilen  $IS(JS,k+1)$  değeri, ilk olarak, depolanan minimum su miktarı ile karşılaştırılarak,

$$IS(JS,k+1)<KV(JS) \text{ ise IFS=1}$$

olarak elde edilmektedir. Buradan, alt program DYNAKZ' ya dönülerek JS-durum değeri göstergesine ait aynı ii-durum değişkeni ile JL-karar değeri,  $JL=JL+1$  alınarak seçilip, alt program FEASKZ' ya tekrar gelindikten sonra, bu ikili değerin olurlu olup olmaması irdelenmektedir. Eğer

$$IS(JS,k+1)>KV(JS)$$

ise, o zaman, bu değer depolanan maksimum su miktarı ile karşılaştırılarak,

$$IS(JS,k+1)>IV(JS) \text{ ise } IS(JS,k+1)=IV(JS), IR(JS,k)=IS(JS,k+1)-IV(JS)$$

değerleri elde edilmektedir. Buradan, diğer barajlara geçilerek, JS-durum değeri göstergesine ait karar değişkeni değerleri belirlenmektedir. JS-durum değeri göstergesi altında diğer barajlarda yapılan işlemler ise, şu şekildedir. İlk olarak, burada barajlardaki işletme seviyeleri sabit tutulduğu için, su dengesi ilişkisinden bırakım miktarları,

$$IR(i,k)=0$$

$$IQ(i,k)=JF(i,k)+IQ(i-1,k)+IR(i-1,k)+IS(i,k)-IS(i+1,k) \quad (i=2,3,\dots,M \text{ için})$$

olarak belirlenip, buradan,  $IQ(i,k)$  değeri, enerji için bırakılacak maksimum su miktarı ile karşılaştırılarak,

$$IQ(i,k) > IQM(i) \text{ ise } IR(i,k) = IQ(i,k) - IQM(i), \quad IQ(i,k) = IQM(i)$$

olarak elde edilmektedir. Bu değerler belirlendikten sonra,  $IFS=0$  alınarak alt program DYNKZ' ya geri dönülmektedir.

### 1.1.3. MFIRMKZ (Alt Program)

Herhangi bir durum değişkeni göstergesi için bütün durum ve karar değişkenlerine göre elde edilen en iyi çözümler belirlendikten sonra, ilk aşamadan son aşamaya doğru gidilerek bu en iyi çözümler arasından en iyisinin belirlenmesine yardım eden alt programlarından birisi de MFIRMKZ' dir .

Bu alt programda yapılan işlemler şu şekildedir. JS-durum değişkeni göstergesi için bütün durum ve karar değişkenleri kullanılarak, elde edilen sonuçlar, alt program DYNKZ' da IC en iyi durum-karar değişkeni çözümleri matrisi olarak saklanmaktadır. Burada bu saklanan değerler, ilk aşamadan başlanarak işletme seviyelerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere çağrılmaktadır. Yani,

$$IQ(JS,1)=IC(1,1)$$

şeklinde olmakta, buradan ilk aşamadan başlanarak işletme politikaları,

$$IR(JS, k)=0$$

$$IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) \quad (JS=1 \text{ ve } k=1 \text{ için})$$

$$IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IQ(JS-1,k)+IR(JS-1,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) \quad (JS=2,3..M \text{ için})$$

olarak ele alınmaktadır. Buradan elde edilen  $IS(JS,k+1)$  değeri, depolanan maksimum su miktarı ile karşılaştırılarak,

$$IS(JS,k+1) > IV(JS) \text{ ise } IS(JS,k+1) = IV(JS), \quad IR(JS,k) = IS(JS,k+1) - IV(JS)$$

değerleri elde edilmektedir. Burada elde edilen  $IS(JS,k+1)$  değeri kullanılarak JS-durum değeri göstergesi artırıldıktan sonraki JS' e karşılık gelen baraj numarası, son baraj numarasından büyük ise, bir sonraki aşamadaki en iyi karar değişkeni seçilerek, bu aşamadan işlemler sürdürülmektedir. Yani,  $JS=JS+1$  olarak artırıldıktan sonra,  $JS > M$  ise, işletme seviyesine karşılık gelen en iyi durum değişkeni sırası,

Şekil 1.5: Alt program MFIRMKZ için geliştirilmiş akış şeması

$$kx = IS(JS,k+1) - LS + 1$$

olarak belirlenmekte ve buna göre en iyi karar değişkeni çözümü

$$IQ(JS,k+1) = IC(kx,k+1)$$

olarak seçilip, (k+1). aşamaya geçilmektedir. Eğer,

$$JS < M$$

ise, diğer barajlara geçilerek, JS-durum değeri göstergesine ait karar değişkeni değerleri belirlenmektedir. Yani, JS-durum değeri göstergesi altında diğer barajlarda yapılan işlemler ise, şu şekildedir. İlk olarak, burada barajlardaki işletme seviyeleri sabit tutulduğu için, su dengesi ilişkisinden bırakım miktarları,

$$IR(i,k) = 0$$

$$IQ(i,k) = JF(i,k) + IQ(i-1,k) + IR(i-1,k) + IS(i,k) - IS(i, k+1) \quad (i=2,3,..M \text{ için})$$

olarak belirlenip, buradan,  $IQ(i,k)$  değeri, enerji için bırakılacak maksimum su miktarı ile karşılaştırılarak,

$$IQ(i,k) > IQM(i) \text{ ise } IR(i,k) = IQ(i,k) - IQM(i), \quad IQ(i,k) = IQM(i)$$

olarak elde edilmektedir. Bu işlemlerden sonra, ikinci aşamaya geçmeden önce, (k+1). aşama için, en iyi durum değişkeni sırası,

$$kx = IS(JS, k+1) - LS + 1$$

olarak ve bu değere göre en iyi karar değişkeni çözümü

$$IQ(JS, k+1) = IC(kx, k+1)$$

seçilmekte olup, buradan itibaren işletme seviyelerinin belirlendiği denklemden,  $k=k+1$  alınarak, yukarıda anlatılan süreç JS-durum değeri göstergesi için son aşamaya gelinceye kadar sürdürülmektedir.

#### 1.1.4. HKZ (Alt Program)

Alt program DYNAKZ' nun çalışması esnasında çağrılan bir alt program olup, maksimum ve minimum depolanan su miktarlarını, seviye-hacim arasındaki ilişkisi gösteren denklemler içerisinde kullanarak, bütün barajlara ait yükseklik matrisini hesaplayan bir yapıya sahiptir.

Bu programda yapılan işlemler şu şekildedir. Alt program DYNAKZ' da amaç fonksiyonu ile ilgili aşama faydasını belirlediği yerde, JS-durum değeri göstergesine karşılık olan barajda herhangi bir ii-durum değişkenine ait depolanan su miktarına göre JS<sub>xii</sub> boyutunda yükseklik matrisinin oluşturulması için alt program HKZ' ya minimum ve maksimum depolanan su miktarları değerleri girdi olarak gönderilmektedir. Bu alt programda, bu değerler ile her bir barajda bulunan su miktarlarına karşılık gelen yükseklik değerleri, yükseklik-hacim eğrisinin oluşturduğu denklem ile hesaplanabilmektedir. Buradan alt program DYNAKZ' ya geri dönmektedir.

**EK B:** Benzetim modeli için bilgisayar programı

Çok amaçlı çok barajlı bir su kaynakları sisteminde, uzun süreli optimal işletmeden elde edilecek sonuçları değerlendirmek için, bir benzetim modeline ihtiyaç duyulmakta olup, bu modele ait program yapısında, uzun süreli işletme modelinden elde edilen işletme seviyeleri ve yapay sinir ağı ile tahmin edilen akımlar bulunmaktadır.

Uzun süreli planlamada sisteme giren veriler aylık ortalama akımlar olup elde edilen işletme seviyeleri aylık normal işletme seviyeleridir. Kritik dönemde (kurak periyot) ise, sisteme giren veriler kritik döneme ait aylık ortalama akım olup, bunun sonucu olarak aylık minimum işletme seviyeleri elde edilmektedir. Elde edilen optimal işletme seviyeleri programa girdi olarak kullanılmaktadır.

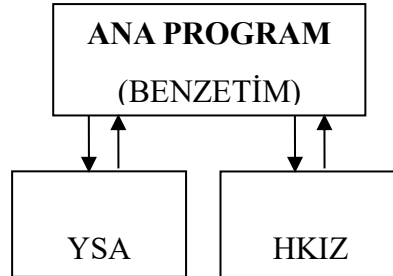
Benzetim modeli ile yapılan işletme, her bir barajda uzun süreli planlamada elde edilen optimal işletme seviyeleri ile aylık ortalama akıma göre belirlenen işletme seviyesi arasında kurulan ilişki ile düzenlenen işletme seviyelerine ve bu seviyeleri etkileyen kapasite kısıtlarına bağlıdır.

Benzetim modelinde, sisteme gelen akımlar aylık normal işletme seviyesinde karşılanmalı, sistemden bırakılacak su miktarı enerji üretimi için bırakılacak maksimum su miktarını geçemeyecek şekilde belirlenmeli, geçtiği takdirde fazla su dolu savaktan bırakılmalıdır. Benzetim işletme zamanı boyunca her bir barajda bu süreç öngörülmektedir. Böylelikle öngörülen bir işletme zamanına göre yapılan işletme neticesinde aylık optimal işletme seviyeleri etrafında oluşan işletme seviyeleri belirlenmektedir.

Burada modelde öngörülen amaca uygun olarak program, C tabanlı MATLAB ortamında hazırlanmıştır. Program, boyutların uygun şekilde ayarlanmasıyla, birbirine seri olarak bağlı ve istenen sayıda enerji enbüyüklenme amaçlı depolamalı barajın oluşturduğu su kaynakları sistemine kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Bilgisayar programı, bir ana program ve iki alt programdan oluşmaktadır. Programın yapısı ve ana programla alt programın birbiri ile ilişkileri Şekil EK B.1.'de verilmiştir. Burada YSA alt programında gelecek akım verileri, geçmişte verilen akım verilerinin

istatistik değerlerine göre üretilmektedir. HKIZ alt programında ise, depolanan su miktarına karşılık seviye değerleri belirlenmektedir.



Şekil EK B.1.Benzetim modeli için bilgisayar programının yapısı

Ana programda ve alt programlarda kullanılan değişkenler aşağıda verildiği gibidir.

M :Baraj sayısı

MM :Benzetim modeline göre işletmede dönem sayısı (ay)

PK :Güç katsayısı

KV(i) :i-barajında minimum depolanan su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ )

IV(i) :i-barajında maksimum depolanan su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ )

IQM(i) :i-barajından enerji için bırakılabilecek maksimum su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ )

ISB(i,j):i-barajında j-zamandaki uzun süreli optimizasyon işletmesine göre optimal su seviyesi ( $10^7 \text{ m}^3$ )

JFB(i,j):i-barajına j-zamandaki havzasından gelen YSA ile tahmin edilen su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ )

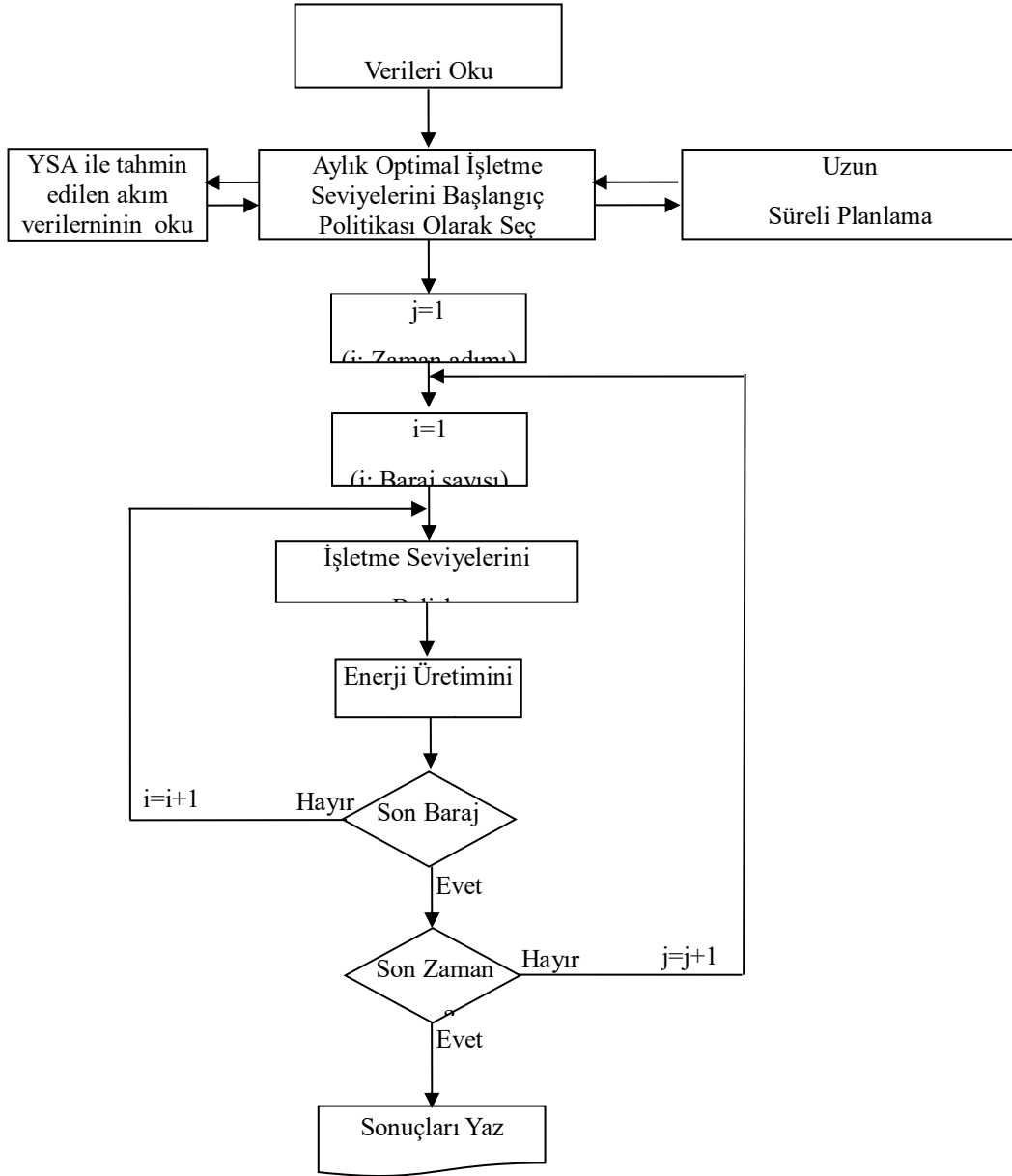
HT(i,j) :i-barajında  $j \times 10^7 \text{ m}^3$  depolanan su miktarına karşılık gelen su yüksekliği (m)

IS(i,j) :i-barajında j-zamandaki depolanan su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ )

IQ(i,j):i-barajında j-zamanda enerji üretimi için bırakılan su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ )

IR(i,j):i-barajında j-zamanda dolu savaktan bırakılan su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ )

Şekil EK B.2.'de Ana program BENZETİM için geliştirilmiş akış şeması gösterilmektedir.



Şekil EK B.2. Ana program BENZETİM için geliştirilmiş akış şeması

### EK C: Yapay sinir ağları

Bu işletme modelinde debi tahmini için yapay sinir ağları modeli kurulmuştur. Yapay sinir ağları modeli için Python programı ve Google Colab aracı kullanılmıştır. Model ileri beslemeli ve zaman değişkenli olarak, 12 adet giriş, 12 adet gizli, 1 adet çıktı katmanı olarak kurulmuştur. Debi tahmini için geçmiş yıllara ait günlük debi miktarları modele eğitim verisi olarak yüklenmiştir. Sistem eğitildikten sonra benzetim



yapılacak yıllar için debi miktarları model tarafından tahmin edilmiştir. Modelin eğitim seti için  $R^2$  değeri %69, test seti için  $R^2$  değeri %80 olduğu görülmüştür.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Fahrettin ALEMDAR, 08.04.1991'de Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2011 yılında başladığı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2015 yılında bitirdi. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.