

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

**ORTA SAKARYA NEHRİ ÜZERİNDEKİ
ÇOKLU BARAJLARIN YÖNETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmed AL-JANABI

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Emrah DOĞAN
Ortak Danışman : Doç. Dr. Mücahit OPAN

Kasım 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORTA SAKARYA NEHRİ ÜZERİNDEKİ
ÇOKLU BARAJLARIN YÖNETİMİ

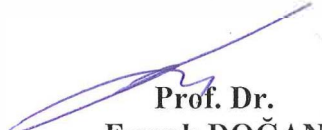
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmed AL-JANABİ

Enstitü Anabilim Dalı

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 23.11.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Emrah DOĞAN
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Mücahit OPAN
Üye


Dr. Öğr. Üyesi.
Osman SÖNMEZ
Üye

Dr. Öğr. Üyesi.
Beytullah EREN

Üye


Dr. Öğr. Üyesi.
Gökmen ÇERİBAŞI

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.

Ahmed AL-JANABİ

23.11.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Emrah DOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma süresince, bilgisini ve desteğini benden esirgemeyen ortak danışman hocam Doç. Dr. Mcahit Opan' a teşekkürü bir borç bilirim.

Maddi ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim aileme ve eşime 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 Sistemlerde Çok Amaçlı Optimizasyon Kriterleri ..	1
1.2. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu	2
1.3. Uygulama Amaçlı Olarak Orta Sakarya Havzasındaki Çok lı Barajlı Su Kaynakları Sistemi	2
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR	3
2.1. Optimizasyon tekniklerinin kullanıldığı araştırmalar	3
2.2. Heuristik yaklaşımlarının kullanıldığı araştırmalar.....	9

BÖLÜM 3.	
ÇOK BARAJLI SİSTEMİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ	11
3.1. Sistemin Tanımlanması	11
3.2. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu Modeli	16
BÖLÜM 4.	
SAKARYA HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ	18
4.1. Giriş	18
4.2. Buharlaşma Değerleri	24
4.3. Yükseklik-Hacim ilişkileri	25
4.4. Barajlara gelen akımlar	27
BÖLÜM 5.	
ORTA SAKARYA HAVZASI İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR	29
5.1. Uzun Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar	29
5.1.1. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modele giren veriler...	29
5.1.2. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler	30
5.1.3. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modele giren veriler..	33
5.1.4. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler	34
BÖLÜM 6.	38
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	
	39
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

x_t	: t-aşamasındaki durum değişkeni
d_t	: t-aşaması için karar değişkeni
t	: Aşama sayısı, (Zaman)
m	: Baraj sayısı
T_a	: Bilgisayar tipine bağlı bir katsayı
X	: Hazneye giren akımlar
Y	: Hazneden çıkan akımlar
$S_{i,t}$	: i- barajında t-zamanında depolanmış su miktarları
$F_{i,t}$	: i-barajının havzasından t-zamanda gelen akım 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
$B_{i,t}$	: i-barajından t-zamandaki buharlaşma kaybı miktarı
$B_{i,t}$	: i-barajından t-zamandaki buharlaşma kaybı miktarı
$S_{i,Min}$	: i-barajında depolanan minimum su miktarı
$S_{i,Maks}$	: i-barajında depolanan maksimum su miktarı
i^{Maks}	: i-barajında enerji üretimi için bırakılabilecek maksimum su miktarı
$R_{i,Maks}$	: i-barajında dolu savaktan bırakılabilecek maksimum su miktarı
$S_{i,t,Nor}$	: i-barajında t-zamandaki aylık normal işletme seviyesi
$S_{i,t,Min}$	: i-barajında t-zamandaki aylık minimum işletme seviyesi
$W_{i,t}$	: i-barajında t-zamanda akarsu yatağına bırakılması gereken minimum su miktarı (sulama, kirlilik kontrolü, ulaşım gibi amaçlar gözetilerek),

- $W_{i,Maks}$: i-barajında akarsu yatağına bırakılabilecek maksimum su miktarı (taşkın kontrolü için emniyetli akım),
- $P_{i,t}$: i-barajında t-zamanda elde edilen ortalama güç
- P_{ki} : i-barajından t-zamandaki buharlaşma kaybı miktarı
- P_G : Güvenilir güç,
- dk_i : i-barajında tünel çapına ve sürtünme özelliklerine bağlı bir katsayı
- $h_{i,t}$: i-barajında t-zamandaki ortalama net düşü
- $h_{i,t}^*$: Tüneldeki sürtünme kaybı düşünülmeden önce i-barajında t-zamandaki ortalama su yüksekliği
- DP : Dinamik programlama, (Dynamic programming)
- DDP : Ayrık dinamik programlama, (Discrete dynamic programming)
- IDP : Artırmalı dinamik programlama (Incremental dynamic programming)
- DDP : Farksal dinamik programlama (Differential dynamic programming)
- DDDP : Ayrık farksal dinamik programlama (Discrete differential dynamic programming)
- DPSA : Ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama (Dynamic programming with successive approximations)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Uzun süreli optimal işletme çalışması süreci.....	2
Şekil 3.1. Birbirine seri bağlı çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü.....	11
Şekil 3.2. Herhangi bir i-barajında t-zamanına ait işletilmesi ile ilgili değişkenleri.	11
Şekil 4.1. Orta Sakarya Havzası'nın şematik görünüşü.....	19
Şekil 4.2. Orta Sakarya Havzası'nda Sakarya Nehri ana kolu üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü	20
Şekil 4.3. Yenice Barajı'nın görüntüsü	22
Şekil 4.4. Gökçekaya Barajı'nın görüntüsü	23
Şekil 4.5. Sarıyar Barajı'nın görüntüsü.....	24
Şekil 4.6. Sarıyar Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri...	25
Şekil 4.7. Gökçekaya Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	26
Şekil 4.8. Yenice Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri...	26
Şekil 4.9. Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar	27
Şekil 4.10. Kritik dönemde barajların aksına havzasından gelen minimum aylık akımlar	28
Şekil 5.1. Barajlarda aylık minimum işletme seviyesi.....	32
Şekil 5.2. Kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri.....	33
Şekil 5.3. Sarıyar Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi.....	35
Şekil 5.4. Gökçekaya Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi.....	36
Şekil 5.5. Yenice Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi.....	36
Şekil 5.6. Aylık toplam güç değerleri.....	37

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Orta Sakarya Havzası' nda nehrin ana kolu üzerinde birbirine seri bağlı bulunan barajlara ait veriler	21
.....	
Tablo 4.2. Baraj aksından aksına Orta Sakarya Nehri'nin uzunluğu	24
.....	
Tablo 4.3. 1974 -2012 Orta Sakarya havzasına ait aylık Buharlaşıma değerleri (hm ³)	25
.....	
Tablo 4.4. Uzun süreli işletmede, çok barajlı su kaynakları sisteminde yükseklik hacim ilişkisi parametreleri ($h=a.V_n$, h (m), V (10 ⁷ m ³))	27
.....	
Tablo 5.1. Barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar	29
Tablo 5.2. Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri	30
Tablo 5.3. Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları	30
.....	
Tablo 5.4. Barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	31
.....	31
Tablo 5.5. Barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları.	32
.....	34
Tablo 5.6. Barajlardaki kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri	35
.....	35
Tablo 5.7. Barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri	35
.....	37

Tablo	5.8.	Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar	.....
Tablo	5.9.	Barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	.....
Tablo	5.10.	Barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları	.....
Tablo	5.11.	Barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri	.....
Tablo	5.12.	Barajların aylık güç değerleri	.....

ÖZET

Anahtar kelimeler: Çok Barajlı Sistem, Enerji Üretimi, Ardışık Yaklaşırmalı Dinamik Programlama, Sakarya Nehri Havzası

Su kaynakları planlaması ve yönetimi çok boyutlu ve karmaşık bir süreçtir. Bu kapsamda çok barajlı havzada birçok amaç için su yönetimi önem kazanmaktadır. Bu çalışma, 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 yaklaşırmalı 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.

MANAGEMENT OF MULTI DAMS IN THE MIDDLE SAKARYA RIVER

SUMMARY

Keywords: Multiple Reservoir Systems, Energy Production, dynamic programming with successive approximations, Middle Sakarya River

Water resources planning and management is a multidimensional and complex process. In this context, water management is important for many purposes. This study focuses on the optimal energy production in dams for energy production in the Middle Sakarya River. After defining the mathematical relationships for the dam system in the basin, an optimization model for optimal energy generation has been established on the system. In the model, sequential approximation dynamic programming optimization technique is used. In the model, the objective function consist of two-stages, in the first stage it is aimed to increase the maximum energy with the monthly dry-term currents and to increase the total energy by using the reliable energy model as a constraint in the model. When the results obtained and the previously planned studies for the basin were compared, it was seen that the installed optimization model produced better results. In the optimization model, it is observed that the dam with the largest volume controls and manages the energy maximization process.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Çok Barajlı Sistemlerde Çok Amaçlı Optimizasyon Kriterleri

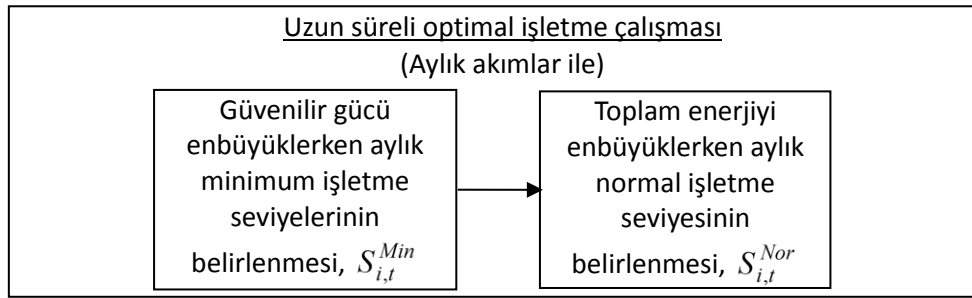
Su kaynakları planlaması, ülke ekonomisi ve öngörülen hayat standartları ile bütünleşmiş, çok boyutlu ve karmaşık bir süreçtir. Su kaynakları planlaması ve yönetimi, istenilen amaçlar doğrultusunda ve öngörülen kriterler çerçevesinde su kaynaklarının en verimli kullanımını sağlayacak faaliyetlerin tümünü kapsamalıdır [9].

Çok barajlı sistemlerde optimal işletme politikalarının belirlenmesi için genelde uzun süreli planlama kapsamında enerji üretimi göz önüne alınmaktadır. Çok barajlı sistemlerin ekonomik ömür boyunca uzun süreli planlaması, optimal olarak boyutlandırılması ve işletme politikaları ile risklerinin belirlenmesi şeklinde gerçekleşmelidir. Buradan göz önüne alınan enerji üretimi, sulama, kuraklık, taşkın ve kirlilik kontrolü gibi yönetimlerde aylık ve/veya kritik dönem akımları kullanılması gerekmektedir.

Çok barajlı sistemlerde, enerji optimizasyonu ile ilgili çalışmalarda, enerji üretim fonksiyonunun doğrusal olmaması bakımından, genellikle, dinamik programlama optimizasyon tekniği ve simülasyon kullanılmıştır, [1, 2, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14 ve 15]. Uzun süreli planlamada aylık kuraklık verileri kullanılarak güvenilir enerjiyi enbüyükmeye yönelik çalışmalar yapılmış olmasına rağmen [6, 10, 11, 12 ve 15], saatlik olarak kuraklık kontrolü ve yönetimi amaçlı olarak yapılmış kısa süreli optimizasyon çalışmaları ilgili araştırmalara ulaşamamıştır.

1.2. Uzun Süreli Planlama için İşletme 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 enbüyüklenmekte ve aylık minimum işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Min}$) elde edilmektedir. Buradan enbüyüklenen güvenilir güç, aynı modelde kısıt olarak kullanılıp, aylık ortalama akımlar ile toplam enerji enbüyüklenmekte ve aylık normal işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Nor}$) belirlenmektedir. Burada, $i=1,2,3.. M$, M :Baraj sayısını, $t=1,2,3,.. KM$, KM :İşletme süresini (ay olarak) göstermektedir. Şekil 1.1.'de uzun süreli optimal işletme çalışması süreci özetlenmiştir [9].



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

1.3. Uygulama Amaçlı Olarak Orta Sakarya Havzasındaki Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi

Orta Sakarya Havzası'nda, Sakarya Nehri ana kolu üzerinde birbirine ardışık olarak bağlı çok barajlı bir sistem bulunmaktadır. Bu sisteme ait barajlar, sırasıyla, Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice barajlarıdır. Bu barajlar enerji amaçlı olarak planlanmışlardır. Bu barajlara ait teknik ayrıntılar, Bölüm 4' te verilmektedir. Burada, akım miktarı ve zaman boyutu, sırasıyla, uzun süreli işletme modelinde, $10^7 m^3$ ve ay olarak alınmıştır [9].

BÖLÜM 2. LİTERATÜR

2.1. Optimizasyon Tekniklerinin Kullanıldığı Araştırmalar

Yakowitz (1982) yapmış olduğu çalışmada su kaynakları problemleri için dinamik programlama modellerini gözden geçirmek ve bu problemlere çözüm üretmek için kullanılan hesaplama tekniklerini incelemiştir. Problemler, su kemeri tasarımı, sulama sistemi kontrolü, proje geliştirme, su kalitesi bakımı ve rezervuar operasyonları analizini içermektedir. Problemler, çözülebilen dinamik programlama problemlerinin ölçeğine uygun bir şekilde sınırlama getirmektedir. Su kaynak problemlerine dinamik programlamanın uygulanması için yaratıcı sayısal teknikler uygulanmıştır. Ayrık dinamik programlama, diferansiyel dinamik programlama, durumsal artan dinamik programlama ve Howard'ın politika yineleme metodu, incelenen teknikler arasındadır. Başarılı uygulamaları tasvir etmek için girişimlerde bulunulmuştur ve tatmin edici bir şekilde çözülmemiş sorunlara karşı spekülasyon fikirleri sunulmuştur [13].

Yeh (1985) yapmış olduğu çalışmada, simülasyon dahil olmak üzere rezervuarlar için geliştirilmiş matematiksel modellerin tekniklerini gözden geçirmiştir. Boyutsallık problemini azaltmak için LP ve DP'nin kombinasyonları da kullanılmıştır. Bazı özel durumlarda, hazne işletme problemleri, birikimsiz ve diğer ağ algoritmaları ile başarılı bir şekilde çözülmüştür [14].

El-Awar ve ark. (1998) yapmış oldukları çalışmada dört rezervuar hidroelektrik sistemine değiştirilmiş stokastik DDP algoritması uygulanmıştır. Sonuçlar, genişletilmiş hidrolojik durum bilgilerinin optimal geri bildirim serbest bırakma politikalarına dahil edilmesinde önemli faydalar sağlamıştır [32].

Labadie (2004) yapmış olduğu çalışmada rezervuar sistemi yönetimi ve operasyonlarının optimizasyonunda teknolojinin durumunu değerlendirmek ve ilave araştırma ve uygulama için gelecekteki yönleri ele almıştır. Rezervuar sistemlerinin yüksek boyutlu, dinamik, doğrusal olmayan ve stokastik özelliklerine hakim olacak şekilde tasarlanan optimizasyon metotlarının yanı sıra çok amaçlı optimizasyona yönelik genişletmeler de incelemiştir. Evrimsel ve genetik algoritmalar kullanarak sezgisel programlama yöntemlerinin uygulanması, rezervuar sistemi işletim kurallarının çıkarılması için nöral ağların ve bulanık kural tabanlı sistemlerin uygulanması ile birlikte tanımlamıştır. stokastik optimizasyonun hesaplama zorlukları, bu sezgisel tekniklerin doğru bir şekilde uygulanmasıyla da aşıldığını göstermiştir [35].

Brandão (2010) bu çalışmada Çok Rezervuarlı Hidroelektrik Sistemler için Eşdeğer Rezervuar Modelleme Tekniğinin kullanılmıştır. güç arttırmak, optimal çalışmasını modellemek için çok rezervuarlı bir hidroelektrik sistemin basitleştirilmiş eşdeğer rezervuar temsilinin geçerliliği araştırılmıştır. Arvanitidis ve Rosing'in (IEEE Trans Power Appar Syst 89 (2): 319–325, 1970) önerdiği bu basitleştirme, enerji girişleri ve çıkışları ile potansiyel enerji eşdeğeri bir rezervuara neden olur. Her iki optimizasyon modeli, doğrusal olmayan programlama problemlerinin çözümü için MINOS paketini kullanmıştır. İki yöntemle planlama ufku boyunca toplam optimize edilmiş enerji üretimi arasındaki bir karşılaştırma, eşdeğer rezervin% 6'dan daha az eksik değerle tatmin edici güç tahminleri üretebildiğini gösterilmiştir. Bununla birlikte, eşdeğer rezervuar yöntemi ile elde edilen planlama ufku boyunca üretim ve toplam rezervuar depolama yörüngeleri, ayrıntılı modellemede bulunanlarla karşılaştırıldığında önemli tutarsızlıklar göstermiştir. Bu çalışma, Brezilya üretim sistemi operasyonlarının, güç sevk prosedürlerinin bir parçası olarak eşdeğer rezervuar yöntemine dayandığı gerçeği ile hareket etmektedir. Potansiyel enerji eşdeğeri rezervuar, dinamik bir programlama modelindeki durum değişkenlerinin boyutsallığı ile ilgili sorunları ortadan kaldıran bir alternatiftir olduğunu gösterilmiştir [34].

Kougias ve Theodossiou (2011) tarafından dört-rezervuar sisteminin yıllık olarak en uygun şekilde işletilmesi için Harmony Arama Algoritması (HSA) kullanılmıştır. Bu program dikkate değer bir performans gösterdi ve elde edilen en yüksek faydanın% 99,6'sından fazlasına eşit olan çok yüksek bir faydayı sağlayan bir çözüme yaklaşılmıştır [24].

Guo ve ark. (2011) Çin'deki Üç Boğaz ve Qingjiang çağılayan rezervuarlarını konu alan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sırasıyla hidroelektrik üretimi ve hidroelektrik gelirinin maksimize edilmesini objektif fonksiyonlar olarak seçerek, çağılayan rezervuarların bireysel ve müşterek çalışması için en uygun modeller oluşturmuşlardır. Modeller ilerici optimallik algoritması ile çözüldü. Kaskad depoları arasında depolama ve elektrik tazminat faydaları analiz edilmiştir. Bu çalışmada 1982-1987 yıllarının ardışık hidrolojik yıllarının günlük giriş verileri seçilmiştir. Tasarım operasyonu kuralı ile karşılaştırıldığında, çoklu rezervuar sisteminin ortak çalışması, maksimum hidroelektrik üretiminin nesnel fonksiyonu ile 5.992 milyar kWh ekstra güç veya% 5.70'lik bir artışa neden olabilir. Rezervuar depolama tazminatıyla Üç Boğaz ve Qingjiang çağılayan rezervuarlarının dökülen suyu sırasıyla 78.741 ve 5.384 milyar m³ azaldığını gözlemlemişlerdir [23].

Arunkumar ve Jothiprakash (2013) yapmış oldukları çalışmada hidroelektrik santrallerde güç üretimini arttırmak için tüm kısıtları karşılayan kaotik bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen kaotik algoritma, basit genetik algoritma ve diferansiyel evrim algoritması ile kıyaslandığında, üretim(generation) konusunda daha optimal çözüm sağladığı göstermişlerdir [26].

Wang ve ark. (2013) yapılan çalışmada 2004 (17 Temmuz-15 Ağustos) ve 2005 (8-27 Ağustos) yılındaki Baishan-Fengman rezervuar sisteminde sel olayları değerlendirmişlerdir. sayısal hava tahminleri (NWP's) çıkışları (kısa tahmin) kullanılarak sel mevsiminde çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Model, Kuzeydoğu Çin'in Baishan-Fengman çoklu rezervuar sistemine uygulanmıştır [25].

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. [37]

Xu ve ark. (2014) optimum reoperasyon ve rutin işlem arasındaki farkı miktar olarak değerlendirmek için yukarı Nanpan nehrini çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Su kullanımı ile çevresel bozulma arasındaki çatışmayı azaltmak için, çoklu havza yönetimi için çoklu rezervuarların optimal reoperasyon modeli önermişlerdir. "Sosyal, ekonomik, su kalitesi ve ekolojik faydalar sırasıyla planlama hedefleri olarak dikkate almışlardır. Taşkın kontrolüne dayanan nehir minimum ekolojik akışlar ve rezervuar su seviyeleri temel kısıtlama koşulları olarak almışlardır. Modeli çalıştırmak için uygulanabilir arama ayırık diferansiyel programlama (FS-DDDP) kullanmışlardır. Sonuçlar, reoperasyonun su kalitesi faydasını önemli ölçüde artırabileceğini ve farklı hidrolojik yıllarda enerji üretimi ve sulama yararları üzerinde küçük bir etkiye sahip olabileceğini göstermişlerdir [12].

Hajjabadi ve Zarghami 2014 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 [27].

Heydari ve ark. (2015) yapmış oldukları çalışmada Tahran-Karac ovasının farklı

ihtiyaçlarının karşılanması için karışık tamsayı 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 [6].

Ming ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada 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 [28].

Mao ve ark. (2016) yapmış oldukları çalışmada 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 [7].

Lin ve Rutten (2016) yapmış oldukları çalışmada 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 [16].

Müller ve Schütze (2016) yapmış oldukları çalışmada 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 [18].

Gu ve ark. (2017) yapmış oldukları çalışmada, 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 [30].

Ji ve ark. (2017) Yalong Nehri'ni konu alan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. 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 [33].

Ahmadianfar ve ark. (2017) tarafından 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 [17].

Ashrafi ve Dariane (2017) yapmış oldukları çalışmada, 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 [29].

Sangiorgio ve Guariso (2018) yapmış oldukları çalışmada 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 [36].

2.2. Heuristik Yaklaşımlarının Kullanıldığı Araştırmalar

Sharma ve ark. (2003) yapmış oldukları çalışmada İki fazlı nöral ağ tekniği kullanılmıştır. Önerilen tekniğin avantajı, herhangi bir matris dönüşümü gerektirmemesi ve hesaplama karmaşıklığının problemin büyüklüğü ile doğrusal olarak arttığını göstermişlerdir [21].

Asiabar ve ark. (2009) 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 [22].

Dessalegne ve Nicklow (2012) yapmış oldukları çalışmada 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 [2].

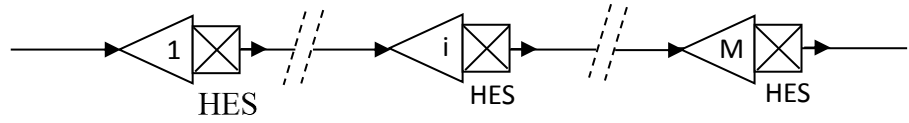
Xu ve ark. (2012) Üç Gorges kaskat ve Qingjiang çağılayan rezervuarını çalışma alanı olarak seçip, Dinamik Uygun Bölge Genetik Algoritması (DFRGA) önermişlerdir. Geleneksel GA ile karşılaştırıldığında, DFRGA'nın% 1,43 oranında artan bir enerji üretimi ile çözüm kalitesini geliştirdiğini ve % 83.94 oranında sapmayı azaltarak sağlamlığı artırdığını göstermişlerdir [20].

Olukanni ve ark. (2018) yapmış oldukları çalışmada 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 [8].

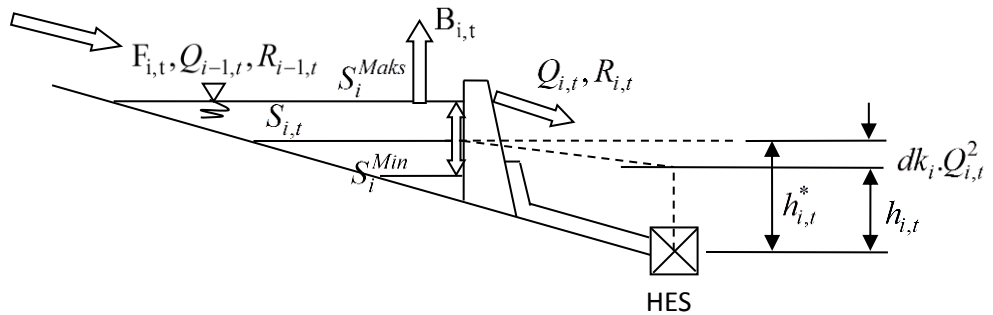
BÖLÜM 3. ÇOK BARAJLI SİSTEMİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ

3.1. Sistemin Tanımlanması

Bir akarsu üzerindeki çok sayıda baraj ve hidroelektrik santral (HES) çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemi olarak tanımlanabilir. Şekil 3.1.'de, çok barajlı bir su kaynakları sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Bu sistem içinde bulunan herhangi bir i-barajının t-zamanına ait işletilmesi ile ilgili değişkenleri Şekil 3.2.'de gösterildiği gibidir [9].



Şekil 3.1: Birbirine seri bağlı çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü (Opan M. 2007)



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

Bir baraj haznesi için su dengesi ilişkisi,

$$\frac{dS}{dt} = X - Y \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

X : Hazneye giren akımları,

Y : Hazneden çıkan akımları,

$\frac{dS}{dt}$: haznede depolanan su miktarı

olarak tanımlanmıştır. Sisteme ait i -barajı için t -zamandaki su dengesi ilişkisi, ($i=1,2\dots M$: baraj sayısı, $t=1,2\dots KM$: Dönem sayısı), ayrık zaman dilimi için,

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (3.2)$$

ile gösterildiğinde, buradan,

$$\frac{\Delta S_i}{\Delta t} = X_{i,t} - Y_{i,t} \quad (3.3)$$

olarak yazılabilir. Buradan,

$$X_{i,t} = F_{i,t} + Q_{i-1,t} + R_{i-1,t} \quad (3.4)$$

$$Y_{i,t} = Q_{i,t} + R_{i,t} + B_{i,t} \quad (3.5)$$

olarak gösterilirse, burada,

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

$F_{i,t}$: i -barajının havzasından t -zamanda gelen akım 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

$B_{i,t}$: i-barajından t-zamandaki buharlaşma kaybı

olarak tanımlanabilir. Eğer $\Delta t = 1$ birim (ay veya saat) olarak alındığında, su dengesi ilişkisi,

$$\Delta S_i = S_{i,t+1} - S_{i,t} \quad (3.6)$$

$$S_{i,t+1} - S_{i,t} = F_{i,t} + Q_{i-1,t} + R_{i-1,t} - Q_{i,t} - R_{i,t} - B_{i,t} \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Çok amaçlı çok barajlı bir su kaynakları sisteminde her bir baraj için depolanan su miktarları, baraj maksimum ve minimum hacimleri ile sınırlanmış olmaktadır. Buna göre her bir barajda depolanmış su miktarı

$$S_i^{Min} \leq S_{i,t} \leq S_i^{Maks} \quad (3.8)$$

arasında olmakta ve,

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

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

göstermektedir. Barajdan bırakılacak akımlar enerji üretim kapasitesine ve dolu savak kapasitesine bağlı olarak sınırlanabilir. Buna göre, barajdan bırakılan akımlar

$$0 \leq Q_{i,t} \leq Q_i^{Maks} \quad (3.9)$$

$$0 \leq R_{i,t} \leq R_i^{Maks} \quad (3.10)$$

olmaktadır. Burada,

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

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

göstermektedir.

Diğer taraftan, barajlardan bırakılan akımların toplamına alt ve üst sınırlar tanımlanabilir. O zaman,

$$W_{i,t} \leq (Q_{i,t} + R_{i,t}) \leq W_i^{Maks} \quad (3.11)$$

arasında olup, burada,

$W_{i,t}$:i-barajında t-zamanda akarsu yatağına bırakılması gereken minimum su miktarı (sulama, kirlilik kontrolü, ulaşım gibi amaçlar gözetilerek),

W_i^{Maks} :i-barajında akarsu yatağına bırakılabilecek maksimum su miktarı (taşkın kontrolü için emniyetli akım),

olarak tanımlanmaktadır.

Her bir barajda enerji üretimi için bırakılan akımdan elde edilen güç hidroelektrik santral kurulu gücünü aşmaması gerekmektedir. Yani, t-zamanda i-barajında elde edilen ortalama güç

$$P_{i,t} = k_i \cdot Q_{i,t} \cdot h_{i,t} \quad (3.12)$$

olup,

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

olmalıdır. Burada, P_{k_i} , i-barajı için kurulu güç, k_i enerji üretim katsayısı ve $h_{i,t}$ i-barajında t-zamandaki ortalama net düşüdüür.

Barajlardaki ortalama su yüksekliği,

$$h_{i,t}^* = h \left(\frac{S_{i,t} + S_{i,t+1}}{2} \right) \quad (3.13)$$

şeklinde (ortalama depolanmış su miktarının bir fonksiyonu olarak) elde edilmektedir. Cebri boru veya taşıma tünelineki sürtünme kayıpları dikkate alındığında,

$$h_{i,t} = h_{i,t}^* - (h_f)_{i,t} \quad (3.14)$$

olmakta ve buradan

$$h_{i,t} = h_{i,t}^* - dk_i \cdot Q_{i,t}^2 \cdot l_i \quad (3.15)$$

yazılmaktadır. Burada,

$h_{i,t}^*$: Tüneldeki sürtünme kaybı düşünülmeden önce i-barajında t-zamandaki ortalama su yüksekliği

$(h_f)_{i,t}$: i-barajında t-zamandaki sürtünmeden dolayı yük kaybı

dk_i : i-barajında tünel çapına ve sürtünme özelliklerine bağlı bir katsayı

l_i : i-barajında taşıma tüneli uzunluğu

olarak tanımlanmaktadır. Burada, barajdaki $h_{i,t}$ yüksekliğine karşılık gelen depolama yüzey alanı belirlenip, bu değer t-zamandaki buharlaşma yüksekliği ile çarpılarak buharlaşma miktarı belirlenmektedir [9].

3.2. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu Modeli

Çok amaçlı çok barajlı su kaynakları sisteminde uzun süreli planlama yaklaşımında, zaman adımları olarak aylar kullanılmaktadır. Sistemin verilen boyutları için, ardışık yaklaşıtırmalı 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,

$$Max.(\min. \sum_{i=1}^M P_{i,t}) \quad (3.16)$$

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

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

$$Max. \sum_{t=1}^{KM} \left[\left(\sum_{i=1}^M P_{i,t} - P_G \right) \cdot P_s + P_G \cdot P_G \right], \quad (KM=12 \text{ ay}) \quad (3.17)$$

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

$$\sum_{i=1}^M P_{i,t} \geq P_G \quad (3.18)$$

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.

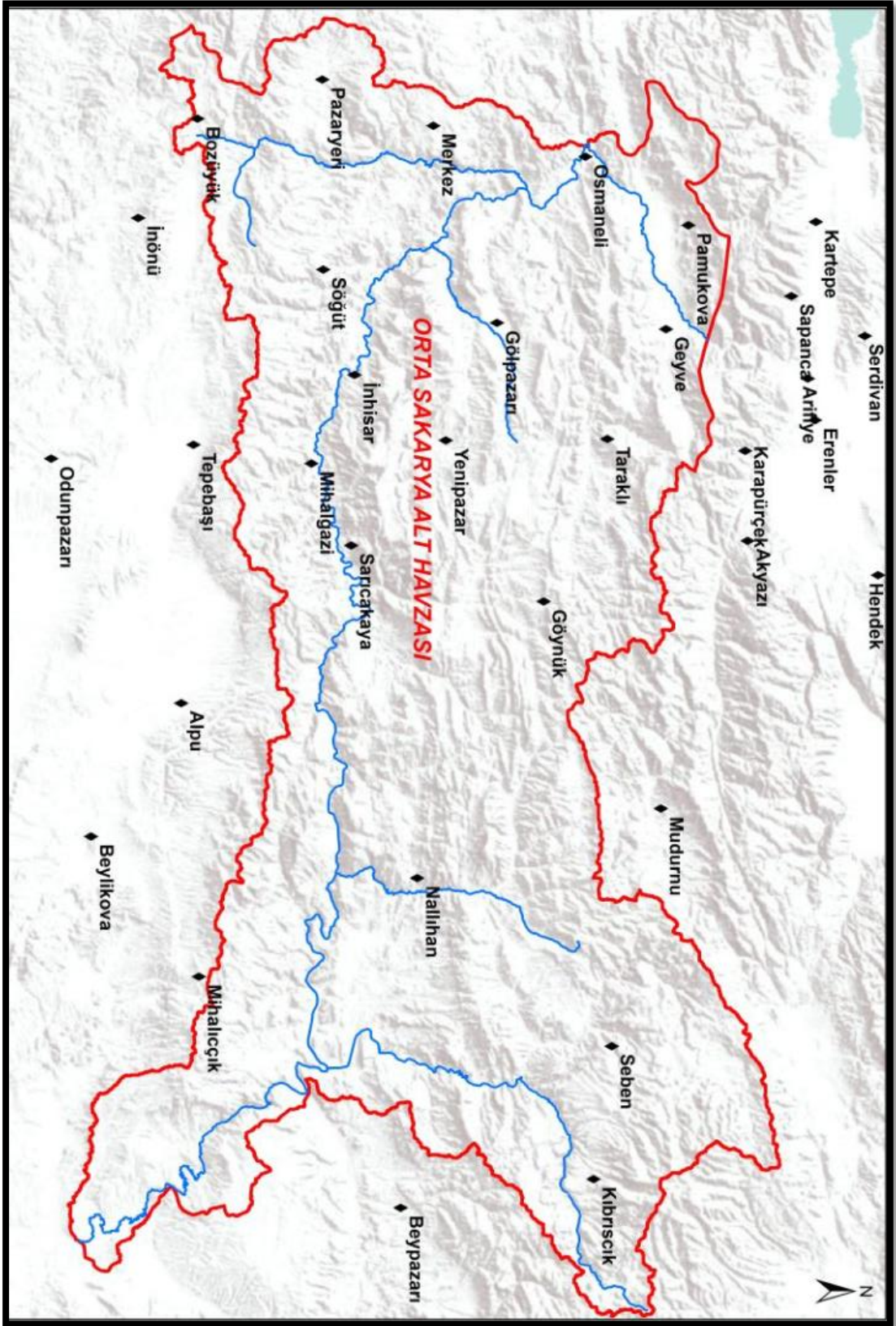
Yapısal denklemler olarak her bir baraj ve dönem için su dengesi ilişkisi, (Denklem 3.5)' de ifade edilmiştir.

Sistemdeki kısıtlar ise, sisteme ait her bir barajdaki işletme seviyesinin değişimi, (Denklem 3.6) ile gösterilmektedir. Barajdan bırakılacak akım miktarları, enerji üretimi ve dolu savaktan bırakılan akımlar, sırasıyla, (Denklem 3.7 ve 3.8) gösterildiği gibi tanımlanmaktadır [9].

BÖLÜM 4. SAKARYA HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ

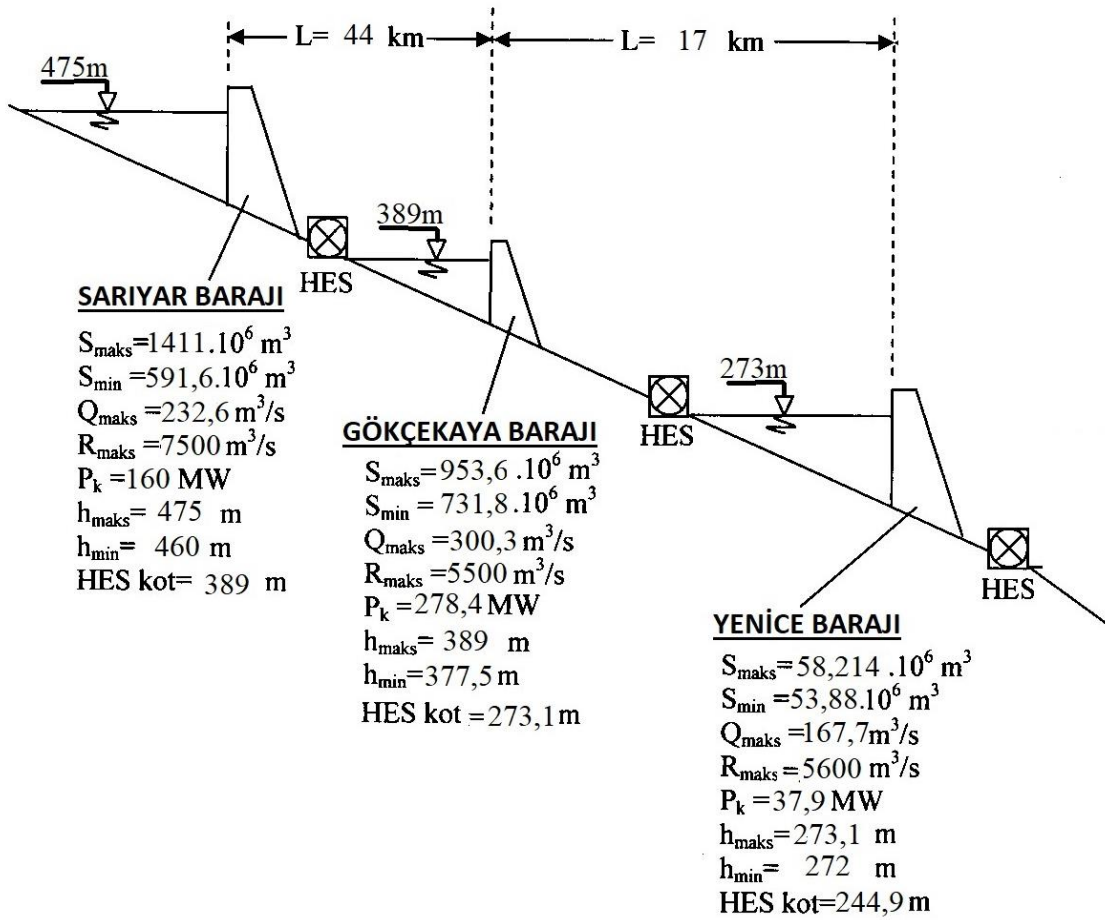
4.1. Giriş

Eskişehir'in Çifteler ilçe merkezinin 3 km güneydoğusundan doğan ve daha sonra birçok küçük derelerle beslenen Sakarya Nehri ülkenin önemli akarsularındandır. Sakarya Nehri Havzası, Yukarı, Orta ve Aşağı olarak üç Kısma ayrılmıştır. Sakarya Nehri Kızılırmak ve Fırat Nehrinden sonra Türkiye'nin en uzun, Kuzeybatı Anadolu'nun ise en büyük akarsuyudur. Uzunluğu 824 km olup, beslenme havzasının genişliği 53.800 km² dir. Yağış alanı 57.000 km², drenaj alanı 56 bin km² olup, Türkiye'nin toplam alanının yaklaşık 1/13'ünü oluşturmaktadır. Sakarya İline Pamukova'nın güneyinden girer sonra Geyve ile Doğançay arasında dik yamaçlı ve dar Geyve Boğazı'ndan akarak Adapazarı ovasına çıkar. Burada da ova akarsu halini alan Sakarya'nın geçmişten bugüne Adapazarı ovasında birkaç defa yatak değiştirdiği bilinmektedir. Adapazarı şehir merkezinin 4 km doğusundan geçen nehir, ovanın kuzey kesiminden sağdan Mudurnu Çayı'nı, soldan Sapanca Gölü'nün fazla suyunu boşaltan Çark Suyu'nu alarak Karasu ilçesinin Yenimahalle semtinden Karadeniz'e dökülür. Sakarya Nehri'nin önemli yan kolları başta Porsuk ve Ankara Çayı olmak üzere Seydi Suyu, Çark Suyu, Karasu, Girmir Çayı, Göynük Çayı, Mudurnu Çayı ve Göksu Deresi'dir. Bölgedeki bütün çay ve derelerin birleştiği ana akarsudur. Akış rejimi düzensizdir. Yatağında en fazla su, yağışların bol olduğu ilkbahar mevsiminde görülür. Debinin en yüksek olduğu aylar Mart, Nisan ve Mayıs'tır. En düşük su seviyesi ise Temmuz, Ağustos, Eylül gibi yaz sonu aylarında görülür. Sakarya Nehri'nin Aladağ ve Kirmir sularını aldığı yerde Türkiye'nin en büyük santrallerinden biri olan Sarıyar Hidroelektrik Santrali ve Gökçekaya Hidroelektrik Santrali kurulmuştur. Orta Sakarya Havzası'nın görünüşü, Şekil 4.1.' de gösterilmektedir [38, 39].



Şekil 4.1. Orta Sakarya Havzası'nın şematik görünüşü (DSİ 2012)

Orta Sakarya Nehri ana kolu ve tali kolları üzerinde birçok baraj bulunmaktadır. Ana kolu üzerinde birbirine seri olarak bağlı bulunan barajlar, sırasıyla, Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice barajlarıdır. Bu barajlar enerji amaçlı olarak planlanmışlardır. Şekil 4.2.'de Orta Sakarya Havzası'nda Sakarya Nehri ana kolu üzerinde ardışık olarak bulunan Enerji amaçlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Orta Sakarya Havzası'nda SAKARYA Nehri ana kolu üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü.

Barajlara ait veriler, Tablo 4.1.'de gösterildiği gibi

Tablo 4.1. Orta Sakarya Havzası' nda nehrin ana kolu üzerinde birbirine seri bağlı bulunan barajlara ait veriler.
(DSİ 2012)

Barajlar	Sarıyar	Gökçekaya	Yenice
Yağış Alanı (km ²)	47562	49246	49463
Amaç	Enerji	Enerji	Enerji
Kurulu Güç (MW)	160	278,4	37,9
Baraj Yüksekliği (m)	120	115	41
Maksimum işletme seviyesi (m)	475	389	273,1
Minimum işletme seviyesi (m)	460	377,5	272
Maksimum Hacim (10 ⁶ m ³)	1411,08	953,65	58,2
Minimum Hacim (10 ⁶ m ³)	591,6	731,8	53,88
Kuyruksuyu kotu (m)	389	273,1	244,9
Dolu Savak Kapasitesi(m ³ /s)	7500	5500	5600
Enerji Üretimi Kapasitesi (m ³ /s)	232,6	300,3	167,7
Aylık Maksimum Akım(m ³ /s)	782.57	508.27	497.43
Aylık Minimum Akım(m ³ /s)	19.05	9.02	0
Aylık Ortalama Akım(m ³ /s)	119.65	76.09	65.94

Barajlara ait resimler, sırasıyla, Şekil 4.3., 4, 5.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Yenice Barajı'nın görüntüsü. (<https://enerjigunlugu.net/icerik/23592/yenice-hes-ozellestirmesinde-son-pazarlik-bugun-yapilacak.html>)



Şekil 4.4. Gökçekaya Barajı'nın görüntüsü. (<http://en.dsi.gov.tr/photo-gallery/dams>)



Şekil 4.5. Sarıyar Barajı'nın görüntüsü. (<http://www.sariyarli.net/sariyar-baraji-nallihan-ankara-62.html>)

Tablo 4.2. Baraj aksından aksına Orta Sakarya Nehri'nin uzunluğu

Barajlar	Uzaklık (km)
Sarıyar-Gökçekaya	44
Gökçekaya -Yenice	17

4.2. Buharlaşma Değerleri

Orta Sakarya Havzası'nda, Sakarya Nehri üzerinde bulunan sistemin incelenmesinde, aylık dönemlerde barajlarda oluşacak buharlaşma kayıpları sisteme ait barajların işletilmesi esnasında göz önüne alınmaktadır. Sakarya Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sisteminin işletilmesi sırasında kullanılan buharlaşma değerleri (mm/ay) olarak Tablo 4.3.'de verildiği gibidir

Herhangi bir baraja ait buharlaşma değeri, işletme esnasında barajın işletme seviyesini doğrudan etkilemektedir. Burada, herhangi bir barajda gölet yüzeyinde gerçekleşen buharlaşma miktarı dönem sonuna ait işletme seviyesinden düşülmesi öngörüldüğü

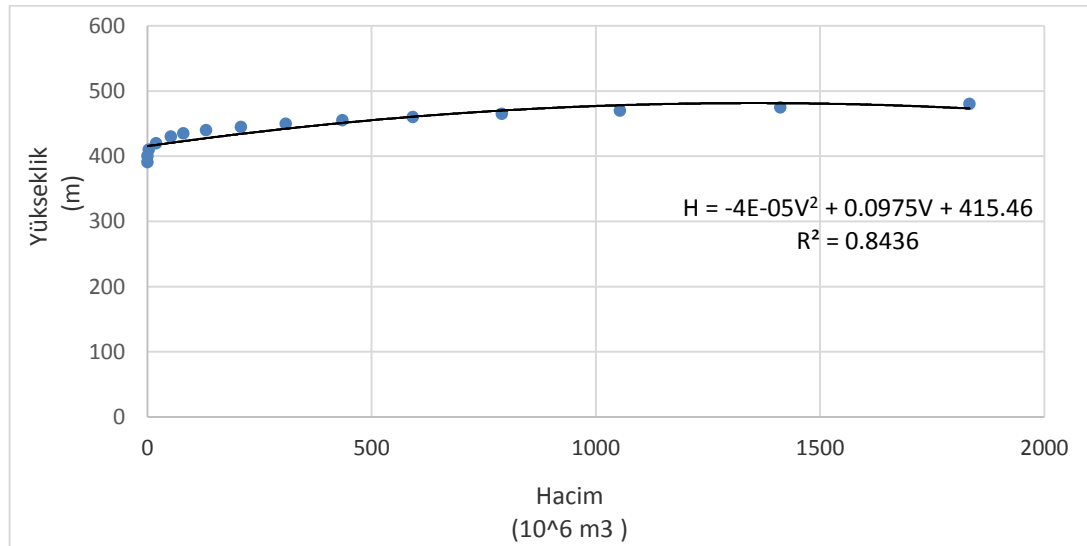
için uzun süreli işletme modeline göre yazılan bilgisayar programında su dengesi ilişkisi içerisine konulmamıştır.

Tablo 4.3. 1974 -2012 Orta Sakarya havzasına ait aylık Buharlaşma Değerleri (hm³). (DSİ 2012)

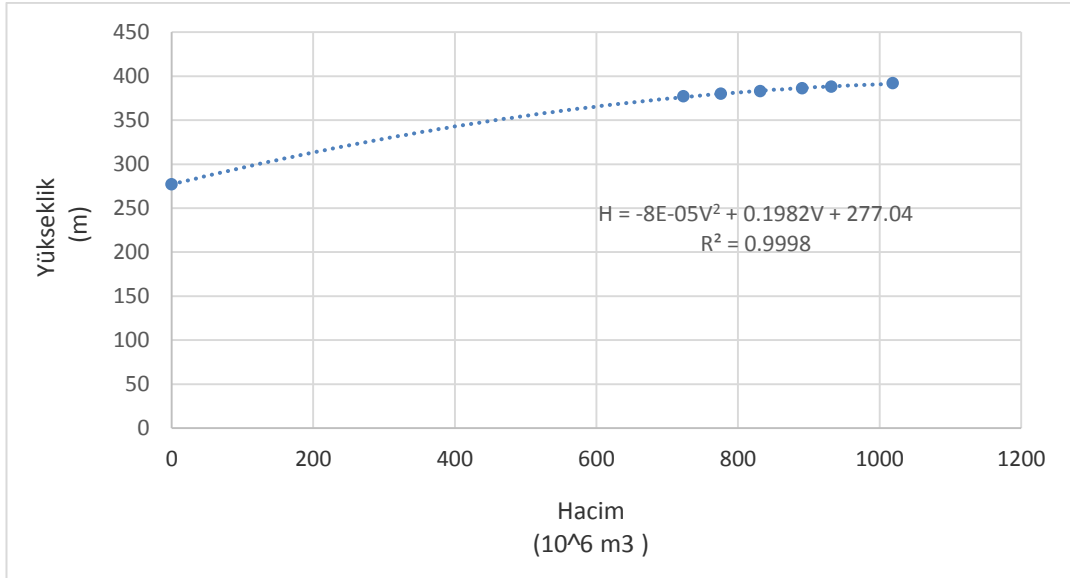
Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
7.634	9.012	10.233	12.847	8.601	4.661	3.106	3.017	3.698	4.602	5.470	7.515

4.3. Yükseklik-Hacim İlişkileri

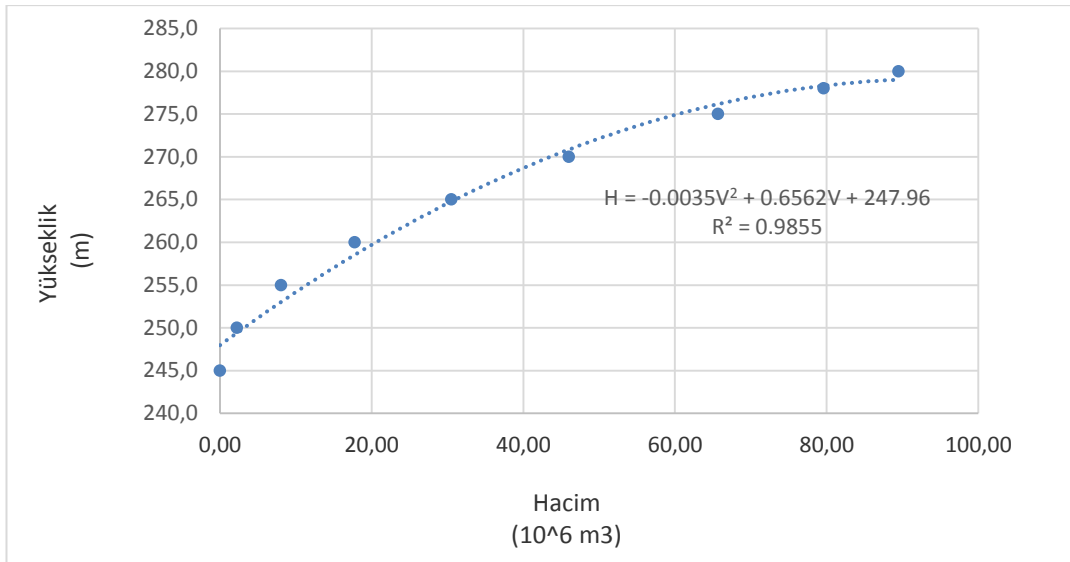
Enerji üretimi, barajdaki su yüksekliğine ve türbinden çıkan akıma bağlı olarak elde edilmektedir. Bu nedenle, barajda işletme seviyesine gelen su yüksekliğinin bilinmesi gerekmektedir. Buradan, Orta sakarya Havzası'nda, Sakarya Nehri'nin ana kolu üzerinde bulunan çok barajlı su kaynakları sisteminde barajlara ait hacim(depolanmış su miktarı) yükseklik eğrileri çizilmiştir. Bu eğriler için $h=a.V^n$ şeklinde tanımlanan denklemin regresyon analizi yapılarak a ve n katsayıları ile R^2 regresyon katsayısının değerleri belirlenip, grafik üzerine işlenmiştir. Sarıyar, Gökçekaya, ve Yenice barajlarına ait yükseklik hacim eğrileri ve denklemleri, sırasıyla, Şekil 4.6., 7., ve 8.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Sarıyar Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemini ve regresyon değeri



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



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

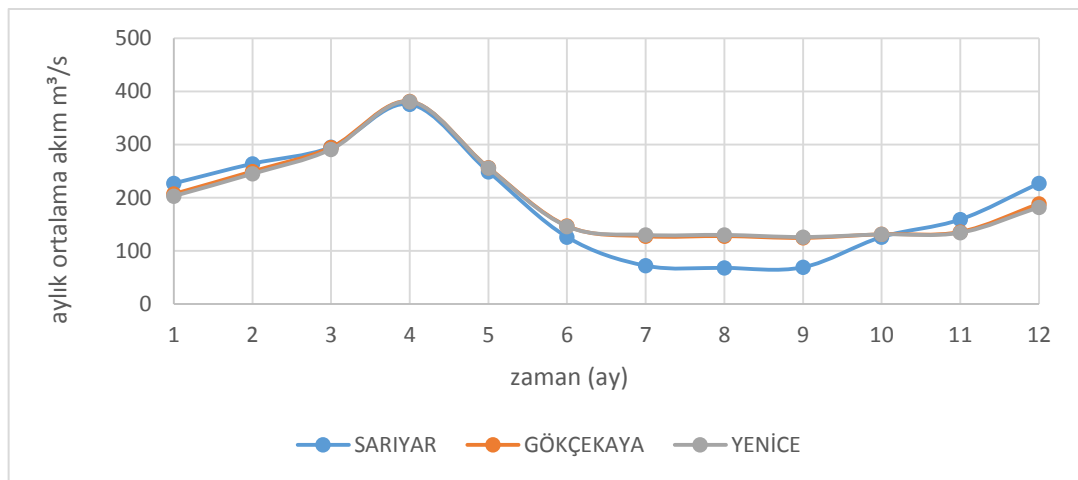
Uzun süreli işletmede, barajlardaki su miktarları 10^7 m^3 olarak alındığı için, barajların yükseklik hacim denklemleri ve regresyon değerleri Tablo 4.4.'te gösterilmektedir.

Tablo 4.4. Uzun süreli işletmede, çok barajlı su kaynakları sisteminde yükseklik hacim ilişkisi parametreleri ($h=a.V^2+bV+c$, h (m), V (10^7 m^3)).(DSİ 2012)

Barajlar	a	b	c	R ²
Sarıyar	-4×10^{-5}	0.0975	415,46	0.8436
Gökçekaya	-8×10^{-5}	0.1982	277,04	0.9998
Yenice	0,0035	0.6562	247,96	0.9855

4.4. Barajlara gelen akımlar

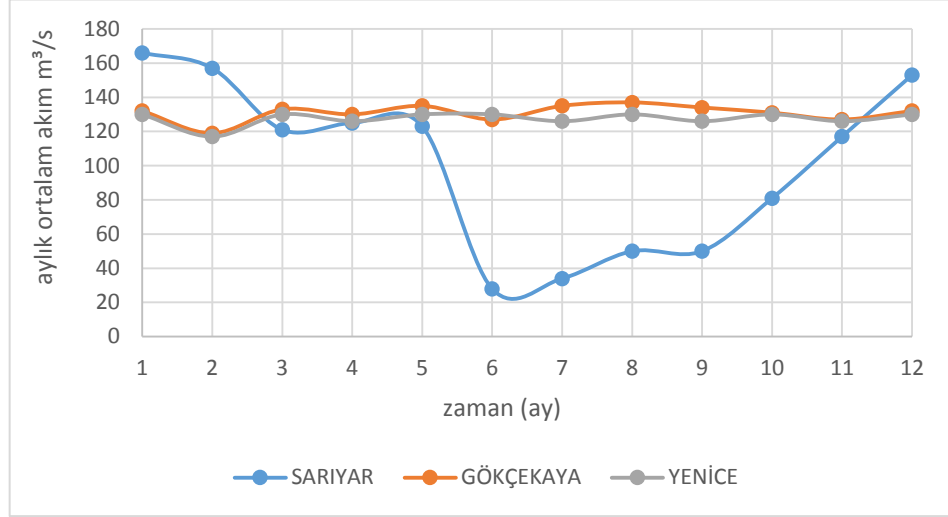
1974'den 2012 tarihine kadar olan akım gözlem değerleri baraj akslarına taşınmış değerler olarak m³/s boyutunda düzenlemiştir. Bu akım gözlem değerleri kullanılarak 1974-2012 yıllarına göre aylık ortalama akımlar elde edilmiştir. Her bir barajdaki aylık ortalama akım değerleri, Şekil 4.9.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar

1974 ile 2012 yılları arasında gelen toplam akımlar gözetilerek kuraklık açısından kritik dönem belirlenmiştir. Buna göre, kritik dönem olarak, 1994-1995 yılları arası

seçilmiştir. Bu kritik dönemde her bir baraja ait aylık akım gözlem değerleri Şekil 4.10.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.10. Kritik dönemde barajların aksına havzasından gelen minimum aylık akımlar

BÖLÜM 5. ORTA SAKARYA HAVZASI İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

5.1. Uzun Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

5.1.1. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde 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.'te 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											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Sarıyar 10 ⁷ m ³)	8	12	15	17	16	12	13	12	3	3	5	5
Gökçekaya 10 ⁷ m ³)	13	13	13	13	12	13	13	13	13	13	14	13
Yenice 10 ⁷ m ³)	13	13	13	13	12	13	13	13	13	13	13	13

Tablo 5.2. Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri

Barajlar	Sarıyar	Gökçekaya	Yenice
S_i^{Maks} (10^7 m ³)	141	95	6
S_i^{Min} (10^7 m ³)	59	73	5

Tablo 5.3. Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları

Barajlar	Sarıyar	Gökçekaya	Yenice
Q_i^{Maks} (10^7 m ³ /ay)	60	78	44

5.1.2. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Güvenilir gücün enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde;

Güvenilir güç, $P_G=180,346$ MW, ortalama güç, $P_{ort}=282,16$ MW, maksimum güç, $P_{Maks}=457,098$ MW ve yineleme sayısı, ICOUNT=6

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

Şekil 5.1.'de barajlarda, aylık minimum işletme seviyesi

Şekil 5.2.'de kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

şeklinde elde edilmiştir.

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. Burada, Sarıyar Barajı'ndaki işletme seviyesindeki değişim yukarıda önerilen görüşü desteklemektedir. Bu optimal işletme

seviyeleri ve barajlara havzasından gelen aylık kritik akımlar kullanılarak, barajlardan bırakılan akımların tamamına yakını enerji üretimi için bırakılmıştır.

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

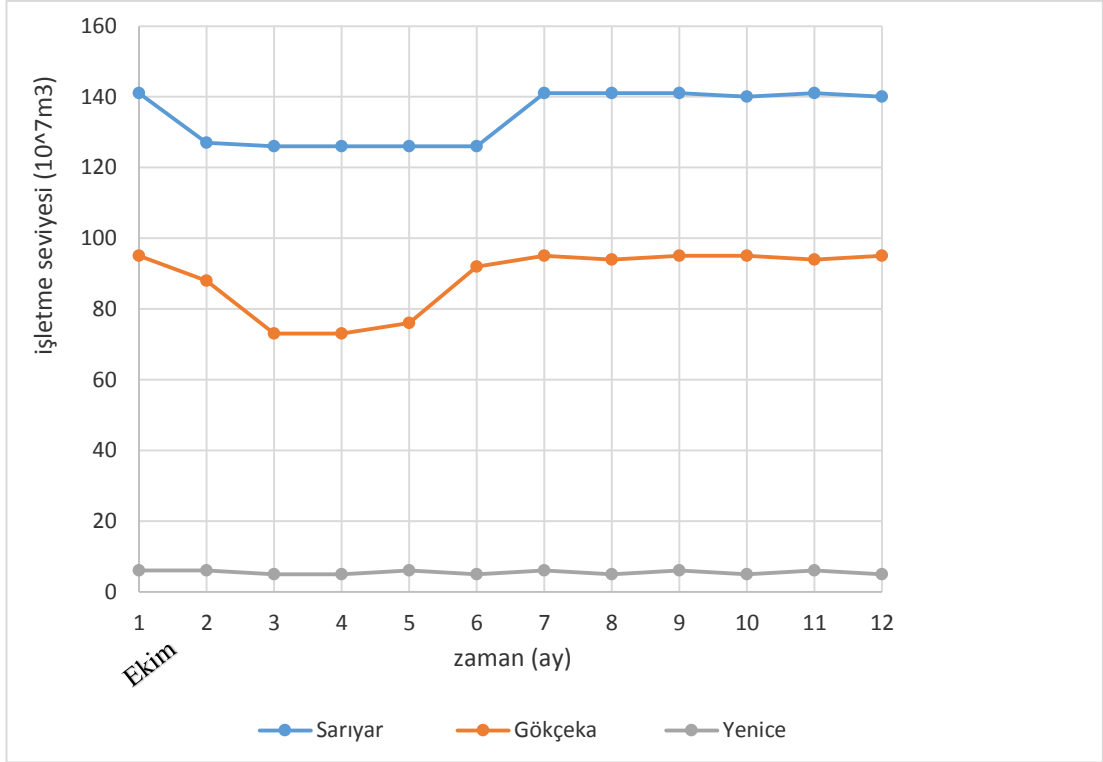
Barajlar	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Sarıyar (10^7 m ³)	60	46	31	36	36	34	35	34	29	30	31	30
Gökçekaya (10^7 m ³)	49	26	26	20	20	22	21	22	27	26	26	26
Yenice (10^7 m ³)	14	13	13	13	12	13	13	12	13	14	12	13

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

Barajlar	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Sarıyar (10^7 m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gökçekaya (10^7 m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yenice (10^7 m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.6. Barajlardaki kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri

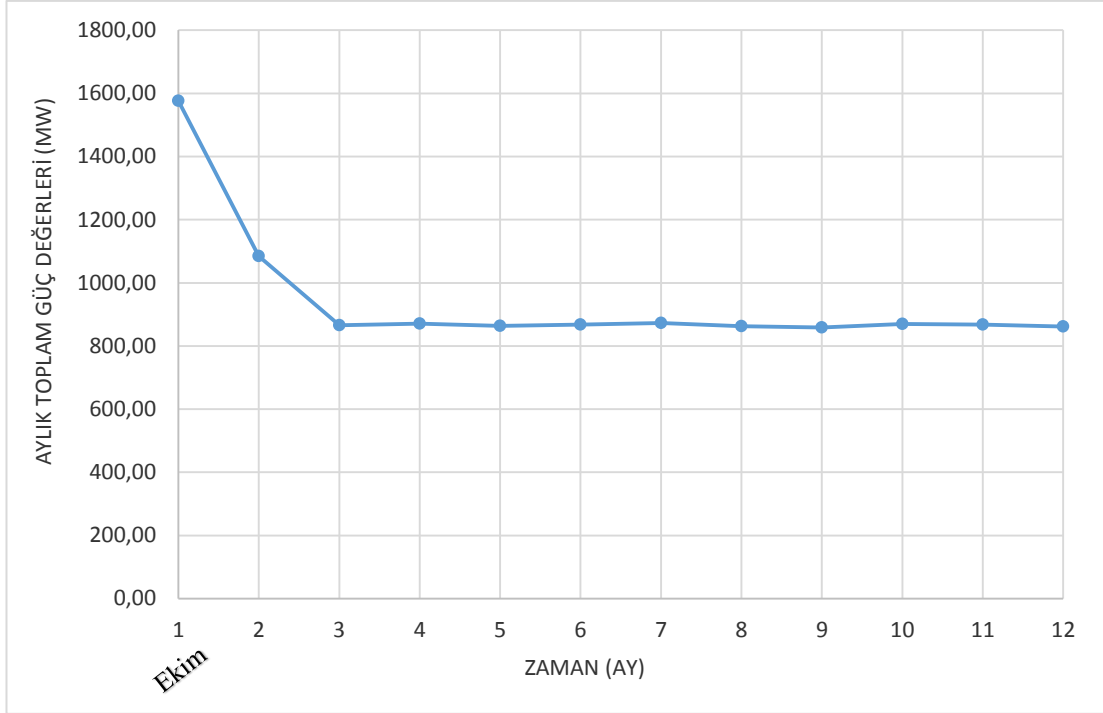
Barajlar	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Sarıyar (10^7 m ³)	141	127	126	126	126	126	141	141	141	140	141	140
Gökçekaya (10^7 m ³)	95	88	73	73	76	92	95	94	95	95	94	95
Yenice (10^7 m ³)	6	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5



Şekil 5.1. Barajlarda aylık minimum işletme seviyesi

Tablo 5.7. Barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar			Toplam (MW)
	Yenice	Gökçekaya	Sarıyar	
Ekim	12,097	100,449	103,751	216,298
Kasım	5,617	79,156	96,160	180,932
Aralık	5,617	72,212	103,751	181,580
Ocak	5,617	70,361	106,282	182,259
Şubat	5,184	74,064	102,486	181,735
Mart	5,617	81,008	93,814	180,438
Nisan	5,617	84,865	91,346	181,827
Mayıs	10,369	85,174	84,988	180,531
Haziran	11,233	95,820	74,280	181,333
Temmuz	12,097	92,271	76,841	181,210
Ağustos	10,369	92,271	78,446	181,086
Eylül	11,233	92,271	76,841	180,346



Şekil 5.2. Kurak dönemde, aylık toplam 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, $P_g = 180,346$ 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											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Sarıyar (10^7 m^3)	13	16	23	23	26	30	38	25	13	7	7	10
Gökçekaya (10^7 m^3)	13	14	19	21	25	29	38	26	15	13	13	12
Yenice (10^7 m^3)	13	13	18	20	24	29	38	26	15	13	13	13

5.1.4. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Toplam enerjinin enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde;

Minimum güç, P_{Min} =166080 MW, ortalama güç, P_{ort} =438.340 MW, maksimum güç, P_{Maks} =788.090 MW ve yineleme sayısı, ICOUNT=20

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

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

Tablo 5.11.' de barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri,

Tablo 5.12.' de barajların aylık güç değerleri,

Şekil 5.3.' te Sarıyar Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi,

Şekil 5.4.' te Gökçekaya Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi,

Şekil 5.5.' te Yenice Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi,

Şekil 5.6.' da Aylık toplam güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Elde edilen aylık normal işletme seviyelerine bakıldığı zaman, Sarıyar Barajı'ndaki işletme seviyesindeki değişim toplam enerjinin enbüyüklenmesinde etkili olmuştur.

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

Tablo 5.9. Barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

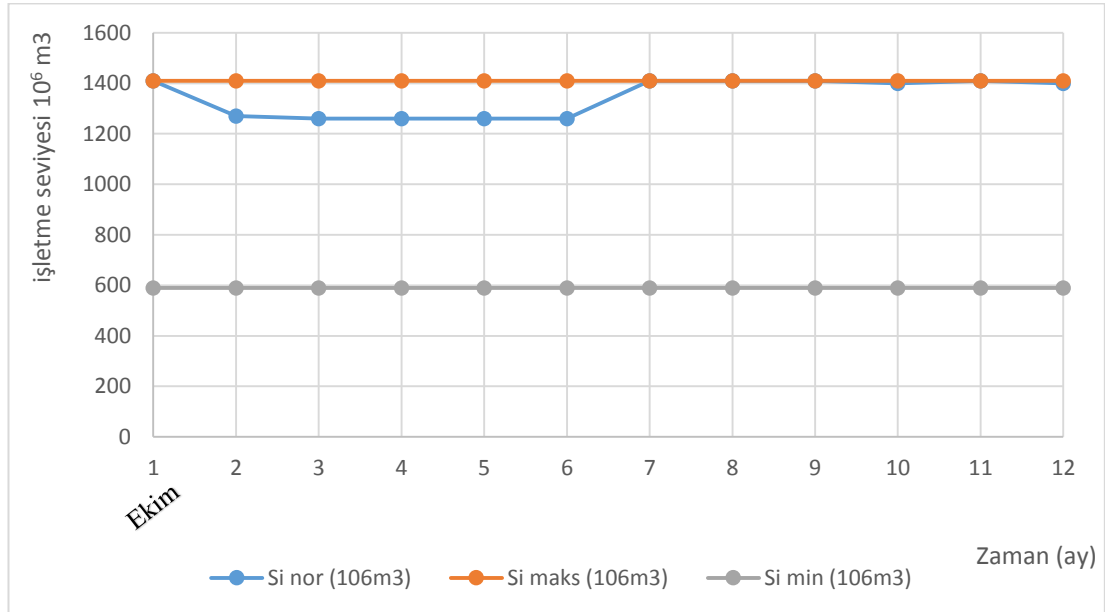
Barajlar	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Sarıyar (10^7 m ³)	60	60	60	60	60	60	60	60	45	32	34	33
Gökçekaya (10^7 m ³)	33	43	37	37	34	54	78	50	31	26	26	24
Yenice (10^7 m ³)	13	14	18	19	25	28	39	25	16	12	14	12

Tablo 5.10. Barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları

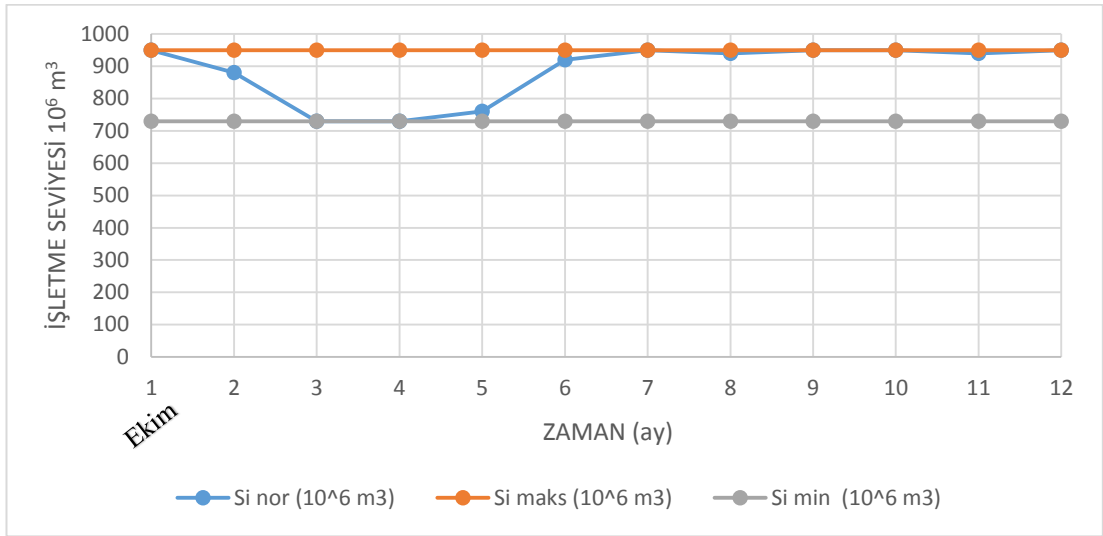
Barajlar	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Sarıyar (10^7 m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gökçekaya (10^7 m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yenice (10^7 m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.11. Barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri

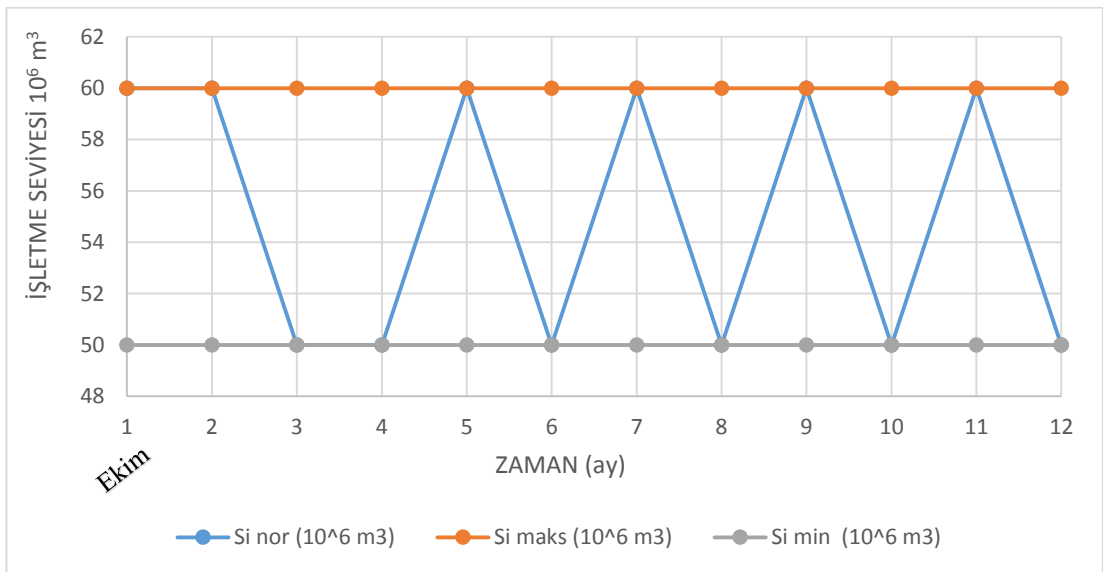
Barajlar	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Sarıyar (10^6 m ³)	1410	1270	1260	1260	1260	1260	1410	1410	1410	1400	1410	1400
Gökçekaya (10^6 m ³)	95	88	73	73	76	92	95	94	95	95	94	95
Yenice (10^6 m ³)	6	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5



Şekil 5.3. Sarıyar Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi



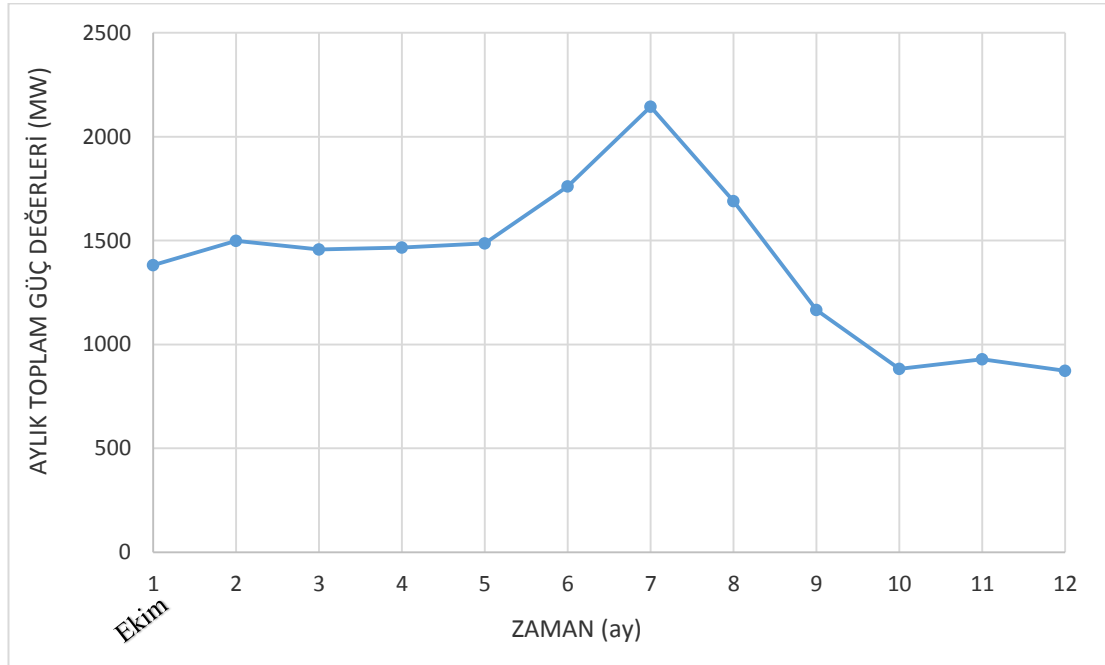
Şekil 5.4. Gökçekaya Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi



Şekil 5.5. Yenice Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi

Tablo 5.12. Barajların aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar			Toplam (MW)
	Yenice	Gökçekaya	Sarıyar	
Ekim	12,097	95,820	102,455	210,373
Kasım	10,369	95,820	112,701	218,890
Aralık	16,418	131,309	151,831	299,558
Ocak	16,418	145,505	153,683	315,605
Şubat	21,602	173,896	153,683	349,181
Mart	24,194	205,836	153,683	383,713
Nisan	33,699	269,716	153,683	457,098
Mayıs	21,602	180,994	153,683	356,279
Haziran	13,825	110,016	112,701	236,542
Temmuz	10,369	92,271	87,087	189,727
Ağustos	12,097	92,271	81,964	186,333
Eylül	10,369	85,174	87,087	182,629



Şekil 5.6. Aylık toplam güç değerleri

BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, çok barajlı sistemlerde çok amaçlı optimal işletme için, öncelikle, bir akarsu havzasında, birbirine çeşitli şekillerde bağlanmış barajlardan oluşan bir su kaynakları sistemi bütün değişkenleriyle matematiksel olarak tanımlanmış Aylık akımların kullanıldığı uzun süreli işletme modeli, kurulmuştur. Kurulan modele göre elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği gibidir:

1. Uzun süreli planlama için yapılan işletme optimizasyonunda, aylık akımlar kullanılarak güvenilir gücün ve toplam enerjinin enbüyüklenmesinde elde edilen optimal işletme seviyelerine bakıldığında, Sarıyar Barajı'na ait işletme seviyesi, işletmeyi yöneten ve yönlendiren bir durumdadır.

2. Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, buharlaşma miktarlarının gözetildiği kritik dönemin aylık akımları ile güvenilir güç enbüyüklenmekte ve güvenilir güç $P_g=180,34$ MW olarak elde edilmektedir. DSİ Genel Müdürlüğü'nün Orta Sakarya Nehri için yaptığı enerji planlaması sonuçlarına göre güvenilir güç 94,01 MW olarak önerilmiştir. Sonuç olarak optimizasyon modelinden elde edilen güvenilir güç değeri DSİ Genel Müdürlüğü tarafından önerilen değerden % 94 daha büyüktür.

3. Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, kurak dönemde elde edilen güvenilir güç, modelde kısıt olarak kullanılmakta, buharlaşma miktarlarının gözetildiği ortalama akımlar ile toplam enerji enbüyüklenmekte ve ortalama güç $P_{ort}=282,16$ MW olarak elde edilmektedir. DSİ Genel Müdürlüğü'nün Orta Sakarya Nehri için yaptığı enerji planlaması sonuçlarına göre ortalama güç 130,29 MW olarak önerilmiştir. Sonuç olarak optimizasyon modelinden elde edilen güvenilir güç değeri DSİ Genel Müdürlüğü tarafından önerilen değerden ortalama güç %116 kadar daha büyük olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Ak M., (2017), Rule curves for operating single and multi-reservoir hydropower plants, PhD, Civil Engineering Department, Middle East Technical University, Turkey.
- [2] 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.
- [3] DSİ Genel Müdürlüğü, Sakarya Havzası Master Planı, 2012.
- [4] Fang F. L. and Jun Q., (2015), "Multi-objective reservoir optimization balancing energy generation and firm power", *Energies*, vol. 8, pp. 6962-6976.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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", *Hydology Research*, doi:10.2166/nh.2016.043.
- [8] 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.
- [9] Opan M., Çok barajlı sistemlerde çok amaçlı optimal işletme, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2007.

- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Xu X., Bin L., Pan C., Ding A. And Chen D., (2014), “Optimal re-operation of multi-reservoir for integrated watershed management with multiple benefits”, *Water*, doi:10.3390/w6040796.
- [13] Yakowitz, S., Dynamic programming applications in water resources, *Water Resources Research*, 18-3, 673-696, 1982.
- [14] Yeh, W., Reservoir management and operations models: A state-of-the-art review, *Water Resources Research*, 21-12, 1797-1818, 1985.
- [15] Yurtal R., Çoklu baraj sistemlerinin enerji optimizasyonu için geliştirilmiş etkin bir artırılmış dinamik programlama modeli ve aşağı Seyhan Havzası’na uygulanması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1993.
- [16] Lin N. and Rutten M., (2016), “Optimal Operation of a Network of Multi-Purpose Reservoir”, *Procedia Engineering* 154 (2016) 1376 – 1384.
- [17] 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/s11269-017-1753z.
- [18] Müller R. and Schütze N., (2016) , “Multi-objective optimization of multi-purpose multi-reservoir systems under high reliability constraints”, *Environ Earth Sci* DOI 10.1007/s12665-016-6076-5.
- [19] Rui Z., Jianzhong Z., Shuo O., Xuemin W. and Huifeng Z., (2012) , “Optimal operation of multi-reservoir system by multi-elite guide particle swarm optimization”, *Electrical Power and Energy Systems* 48 (2013) 58–68.
- [20] 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.
- [21] Sharma V., Jha R. And Naresh R., (2003) , “Optimal multi-reservoir network control by two-phase neural network”, *Electric Power Systems Research* 68 (2004) 221–228.

- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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/s11269-013-04104.
- [26] Arunkumar R. And Jothiprakash V., (2013), “Chaotic Evolutionary Algorithms for Multi-Reservoir Optimization”, *Water Resour Management* DOI 10.1007/s11269-013-0463-4.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] Zhong-kai F., Wen-jing N., Chun-tian C. and Sheng-li L., (2017), “Hydropower system operation optimization by discrete differential dynamic programming based on orthogonal experiment design”, *Energy*, vol. 126, pp.720-732.
- [32] El-Awar F., Labadie J., Ouarda T., (1998), “Stochastic differential dynamic programming for multi-reservoir system control”, *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, vol. 12, pp.247-266.

- [33] 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.
- [34] Brandão J., (2010), “Stochastic differential dynamic programming for multi-reservoir system control”, *Water Resour Management*, vol.24, pp.3101-3114.
- [35] Labadie j., (2004), “Optimal Operation of Multireservoir 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).
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] Doğan E., Sönmez O., Yapan E., Othan K., Özden S. And Citgez T., (2013), “Aşağı Sakarya Nehrinde taşkın yayılım haritalarının elde edilmesi”, *SAU J. Sci.* Vol 17, No 3, p. 363-369, 2013.
- [39] Işık S., Şaşal M. And Doğan M., (2005), “Sakarya Nehrinde Barajların mansap etkisinin araştırılması”, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Sci.* Vol 21, No 3, p. 401-408, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmed Al-Janabi, 05.04.1992'da Irak-Bağdat'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Irak-Anbar'da tamamladı. 2009 yılında Al-faris Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında başladığı Al-Anbar Üniversitesi Barajlar ve su kaynakları Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2016 yılında Sakarya'da inşaat sektöründe mühendis olarak çalışmaya başladı akabinde yüksek lisans eğitimine Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde devam etti.