

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seda SEVER

**ÇOK AMAÇLI ARDIŞIK BARAJ HAZNELERİNİN
İŞLETMESİNİN HEC-RESSİM İLE SİMÜLASYONU**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2020

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇOK AMAÇLI ARDIŞIK BARAJ HAZNELERİNİN İŞLETMESİNİN
HEC-RESSİM İLE SİMÜLASYONU**

Seda SEVER

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Recep YURTAL

Yıl:2020, Sayfa:82

Jüri : Prof. Dr. Recep YURTAL

: Prof. Dr. M. Sami AKÖZ

: Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ

Bu çalışmada, Ceyhan Havzası'nda ardışık olarak inşa edilmiş Aslantaş Barajı, Berke Barajı ve Sır Barajı çoklu rezervuar sistem yaklaşımı ile işletilerek üretilen yıllık toplam enerjiyi eniyilemek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda sistemin davranışını incelemeye olanak sağlayan simülasyon yöntemi tercih edilmiş ve genelleştirilmiş simülasyon programı HEC-ResSim kullanılmıştır. Barajların, mevcut durumda üretebilecekleri maksimum enerji için işletme kuralları belirlenmiştir. Belirlenen kurallar doğrultusunda gerçekleştirilen simülasyonun sonucunda üretilen yıllık toplam enerji miktarları dikkate alınarak sistemin davranışı incelenmiştir. Çalışma sonucunda üç barajlı sistemin yıllık toplam enerjisi eniyilenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çoklu rezervuar sistemi, Rezervuar işletmesi, Hidroelektrik Enerji, Simülasyon, HEC-ResSim

ABSTRACT

MSc THESIS

SIMULATION OF MULTI-PURPOSE MULTI-RESERVOIR SYSTEM OPERATIONS BY HEC-RESSIM

Seda SEVER

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Recep YURTAL
Year:2020, Page:82
Jury : Prof. Dr. Recep YURTAL
: Prof. Dr. M. Sami AKÖZ
: Assoc. Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİ

In this study, it was aimed to optimize the annual total energy produced by operating the Aslantaş Dam, Berke Dam and Sır Dam, which were constructed consecutively in Ceyhan Basin, with a multiple reservoir system approach. For this purpose, the simulation method that allows to examine the behavior of the system was preferred and the generalized simulation program (HEC-ResSim) was used. Operating rules have been determined for the maximum energy that dams can generate at present. The behavior of the system is examined by taking into account the annual total energy produced as a result of the simulation performed in line with the determined rules. As a result of the study, the annual total energy of the three-dam system is optimized.

Keywords: Multi-reservoir system, Reservoir operation, Hydroelectric Energy, Simulation, HEC-ResSim

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Gelişen dünyada enerjiye olan talep gittikçe artmaktadır. Ülkemiz enerji ihtiyacını, yenilenemeyen ve yenilenebilen kaynaklardan karşılamaktadır. Ülkemiz için talep edilen enerjinin, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan hidroelektrik enerji kaynaklarından üretilmesi önem taşımaktadır. Enerji üretiminde su kaynaklarından faydalanmak amacıyla biriktirmeli ve biriktirmesiz HES'ler tercih edilmektedir. Genellikle bu yapılar su kaynağı üzerinde ardışık olarak inşa edilmektedir. Enerji üretmenin yanı sıra farklı amaçlar için inşa edilen barajların işletilmesi bu konuda en önemli husustur. Barajlar ardışık olarak inşa edildiklerinde, her bir baraj kendisinden sonraki baraj için çıkış akımı sağladığı ve akarsu rejimini değiştirdiği için bu yapıları bir bütün olarak incelemenin daha doğru olduğu söylenebilir.

Barajlar, belirlenen işletme kuralları dahilinde işletilmektedir. Barajlardan fayda sağlanması ancak etkili işletme kurallarının belirlenmesiyle mümkündür. Baraj işletme kurallarının belirlenmesinde, simülasyon yöntemi tercih edilen bir tekniktir.

Bu çalışmada, genelleştirilmiş rezervuar simülasyon modeli HEC-ResSim kullanılmıştır. Ceyhan Havzası'nda ardışık inşa edilmiş olan Aslantaş Barajı, Berke Barajı, Sır Barajı'nda mevcut durumda üretilebilecek yıllık toplam maksimum enerji incelenmiştir. Bu çalışmanın barajların fiziksel yapılarının modele aktarılması, barajlar için işletme kurallarının belirlenmesi ve simülasyonun yapılması şeklinde üç temel adımı vardır.

Modele, 1970-2012 yılları arasındaki hidrolojik veriler giriş akımı olarak tanımlanmıştır. Giriş verileri HEC-ResSim'in ara birim programı HEC-DssVue'de hazırlanmıştır. Baraj gölünde sadece buharlaşma kaybının olduğu, sızma kaybının olmadığı kabul edilmiştir. Üç barajın karakteristik özellikleri programa aktarılmıştır. Karakteristik özelliklerinin aktarılmasında ve maksimum

kapasitelerinin doğru tanımlanmasında titizlik gösterilmiştir. Rezervuar depolama seviyelerinin belirlenebilmesi için kot-alan-hacim eğrileri modele tanımlanmıştır.

Barajların fiziksel yapılarının modele aktarılmasından sonra işletme kuralları belirlenmiştir. İşletme kuralları öncelik sırasına göre modele aktarılmıştır. Doğal hayatın devamlılığını sağlamak için çevresel akış kuralı en öncelikli kural olarak tanımlanmıştır. Sonrasında sırasıyla su temini, hidroelektrik enerji ve dolusavak kuralları modelde oluşturulmuştur. Bu kurallar, barajların ilgili zonlarına yerleştirilmiştir. Suyun çıkış yapılarında salıverilmesinde öncelik türbinlere verilmiştir.

Simülasyon 1970-2012 yılları için günlük zaman aralığında gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda Aslantaş Barajı yıllık toplam 1150,44 GWh enerji, Berke Barajı yıllık toplam 3084,07 GWh enerji, Sır Barajı yıllık toplam 842,70 GWh enerji üretmiştir. Bu değerler Ceyhan Master Planı sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Ceyhan Master Planı'nın sonucunda Aslantaş Barajı yıllık toplam 674 GWh, Berke Barajı yıllık toplam 1730,9 GWh, Sır Barajı yıllık toplam 812,6 GWh enerji üretmiştir. Bu üç baraj bir sistem olarak değerlendirilip Master Plan sonuçları ile kıyaslandığında toplamda %57,87 daha fazla enerji üretilmiştir. Çalışma sonucunda üç barajlı sistemin yıllık toplam enerjisi eniyilenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, yardımlarını ve zamanını benden esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Recep YURTAL'a teşekkür ederim.

Tez çalışması için gerekli verilerin elde edilmesinde, EÜAŞ'a, DSİ 6. Bölge Müdürlüğü'ne, DSİ 20. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederim. Ayrıca, verilerin elde edilmesinde kolaylık sağlayan, deneyimlerini benimle paylaşan Dr. Ş. Pınar GÜVEL'e ve Y. İnş. Müh. Ş. Duygu BABACAN'a teşekkür ederim.

Son olarak, hayatımın her aşamasında yanımda olan ve benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Önemi ve Amacı.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. ÇALIŞMA ALANI ve METOT.....	13
3.1. Çalışma Alanı	13
3.1.1. Ceyhan Havzası.....	13
3.1.2. Ceyhan Nehri	15
3.1.3. Ceyhan Havzası Su Potansiyeli.....	15
3.2. Metot.....	16
3.2.1. Genel	16
3.2.2. Rezervuar Simülasyon Modeli.....	17
3.2.3. Genelleştirilmiş Simülasyon Modelleri.....	19
3.2.4. HEC-ResSim (Hydrologic Engineering Center-Reservoir System Simulation)	19
3.2.4.1. Havza Kurulum Modülü (Watershed Setup)	20
3.2.4.2. Rezervuar Ağ Modülü (Reservoir Network).....	20
3.2.4.3. Simülasyon Modülü (Simulation Module).....	21
3.2.4.4 HEC-DSSVue.....	22
3.3. Simülasyon için Gerekli Veriler	23

3.3.1 İşletme Çalışması Yapılan Barajlar.....	24
3.3.1.1. Aslantaş Barajı ve HES	24
3.3.1.2. Berke Barajı ve HES	25
3.3.1.3 Sır Barajı ve HES	27
3.3.2 Su Temin Değerleri	30
3.3.3. Kot-Alan-Hacim Eğrisi	31
3.3.4. Buharlaşma Değeri.....	33
4. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI.....	35
4.1. Havzanın Oluşturulması	35
4.2. Rezervuar Ağ Modülünün Oluşturulması	36
4.2.1. Fiziksel Bileşen (Physical Sekmesi)	37
4.2.2. İşletme Kurallarının Tanımlanması (Operations Sekmesi)	38
4.2.2.1 Aslantaş Barajı için İşletme Kurallarının Belirlenmesi	40
4.2.2.2. Berke Barajı için İşletme Kurallarının Belirlenmesi	42
4.2.2.3. Sır Barajı için İşletme Kurallarının Belirlenmesi	44
5. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	47
5.1. Genel.....	47
5.2. Aslantaş Barajı için Simülasyon Sonuçları.....	47
5.3. Berke Barajı için Simülasyon Sonuçları	53
5.4. Sır Barajı için Simülasyon Sonuçları.....	58
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	71
EKLER.....	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Aslantaş Barajı Göl Yüzeyinden Net Buharlaşma Kayıpları (mm/ay).....	33
Çizelge 3.2. Berke Barajı Göl Yüzeyinden Net Buharlaşma Kayıpları (mm/ay).....	34
Çizelge 3.3. Sır Barajı Göl Yüzeyinden Net Buharlaşma Kayıpları (mm/ay)	34
Çizelge EK-1.1. Aslantaş Barajı su temin değeri (m ³ /s).....	74
Çizelge EK-1.2. Berke Barajı su temin değeri (m ³ /s)	77
Çizelge EK-1.3. Sır Barajı su temin değeri (m ³ /s).....	80



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1.	Ceyhan Havzası'nın Türkiye'deki konumu	14
Şekil 3.2	Ardışık barajların oluşturduğu rezervuar sisteminin şematik görünüşü	16
Şekil 3.3.	Tipik bir baraja ait depolama zonları,	17
Şekil 3.4.	Tipik bir barajın t zamanında işletilmesine dair giriş ve çıkış verileri.....	19
Şekil 3.5.	HEC-ResSim karar verme mantığı	22
Şekil 3.6.	HEC-ResSim için giriş verilerinin hazırlandığı HEC-DSSVue ara yüzü.....	23
Şekil 3.7.	Simülasyon çalışması yapılan ardışık barajların boy kesiti	29
Şekil 3.8.	Aslantaş Barajı kot-alan-hacim eğrisi.....	32
Şekil 3.9.	Berke Barajı kot-alan-hacim eğrisi	32
Şekil 3.10.	Sır Barajı kot-alan-hacim eğrisi.....	33
Şekil 4.1.	Ceyhan Havzasının oluşturulması.....	36
Şekil 4.2.	Barajların Ceyhan Nehri güzergahına tanımlanması	37
Şekil 4.3.	Fiziksel verilerin modele aktarılması.....	38
Şekil 4.4.	İşletme kuralları için kılavuz eğrisi.....	39
Şekil 4.5.	Berke Barajı için suyun çıkış yapılarında salıverilmesi önceliğinin tanımlanması	40
Şekil 4.6.	Aslantaş Barajı için işletme kurallarının tanımlanması	42
Şekil 4.7.	Berke Barajı için işletme kurallarının tanımlanması.....	43
Şekil 4.8.	Sır Barajı için işletme kurallarının tanımlanması	45
Şekil 5.1.	Simülasyon sonucunda Aslantaş Barajı'nın Kılavuz Eğrisi, giriş ve çıkış akımları.....	49
Şekil 5.2.	Simülasyon sonucunda Aslantaş Barajı'nın ürettiği güç ve türbinlenen akım	50
Şekil 5.3.	Simülasyon sonucunda Aslantaş Barajı'nın ürettiği günlük toplam enerji	51

Şekil 5.4. Simülasyon sonucunda Aslantaş Barajı'nın çıkış yapılarında salıverilen su	52
Şekil 5.5. Simülasyon sonucunda Berke Barajı'nın Kılavuz Eğrisi, giriş ve çıkış akımları.....	54
Şekil 5.6. Simülasyon sonucunda Berke Barajı'nın ürettiği güç ve türbinlenen akım	55
Şekil 5.7. Simülasyon sonucunda Berke Barajı'nın ürettiği günlük toplam enerji	56
Şekil 5.8. Simülasyon sonucunda Berke Barajı'nın çıkış yapılarında salıverilen su.....	57
Şekil 5.9. Simülasyon sonucunda Sır Barajı'nın Kılavuz Eğrisi, giriş ve çıkış akımları	59
Şekil 5.10. Simülasyon sonucunda Sır Barajı'nın ürettiği güç ve türbinlenen akım	60
Şekil 5.11. Simülasyon sonucunda Sır Barajı'nın ürettiği günlük toplam enerji.....	61
Şekil 5.12. Simülasyon sonucunda Sır Barajı'nın çıkış yapılarında salıverilen su.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
Ağu	: Ağustos
Ara	: Aralık
B_t	: t sürede buharlaşma miktarı
EÜAŞ	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
Eki	: Ekim
Eyl	: Eylül
$DA_{AGİ}$	: AGİ drenaj alanı
DA_{Baraj}	: Baraj drenaj alanı
DSİ	: Devlet Su İşleri
GUI	: Graphical User Interface
Haz	: Haziran
HES	: Hidroelektrik Santral
HEC	: Hydrologic Engineering Center
HEC-5	: Simulation of Flood Control and Conservation Systems
HEC-ResSim	: Reservoir System Simulation
HEC-DSS	: Data Storage System
HEC-DSSVue	: Data Storage System Visual Utility Engine
I_t	: t sürede rezervuar giriş akımı
Kas	: Kasım
Mar	: Mart
May	: May
Nis	: Nisan
Oca	: Ocak
$P_{AGİ}$	: AGİ ortalama yağış değeri
P_{Baraj}	: Baraj yeri ortalama yağış değeri
R_t	: t sürede rezervuar çıkış (doluşavak + su temini) akımı

S_t	: t süre sonundaki rezervuar depolaması
S_{t-1}	: t-1 süre sonundaki rezervuar depolaması
Şub	: Şubat
Q_1	: Baraj aksının membasında bulunan AGİ’de ölçülen akım değeri
Q_2	: Baraj aksının mansabında bulunan AGİ’de ölçülen akım değeri
$Q_{AGİ}$	: AGİ’de ölçülen akım değeri
Q_{Baraj}	: Baraj yeri doğal akım değeri
Q_{proje}	: Proje debisi
Q_t	: t sürede enerji üretimi için salıverilen su miktarı
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
Tem	: Temmuz
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde gelişmişlik düzeyinin bir göstergesi olarak kabul gören enerji, dünya nüfusunun artmasına ve sanayileşmedeki gelişmelere bağlı olarak gün geçtikçe daha çok önem kazanmaktadır. Enerji üretimi fosil kaynaklar (kömür, petrol, doğal gaz), nükleer enerji gibi yenilenemeyen ve hidroelektrik enerji, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, gelgit enerjisi gibi yenilenebilen kaynaklardan sağlanmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının dünyadaki rezervlerinin kısıtlı miktarda olması, bu rezervlerin sürdürülebilir olmaması, gelecekte bu kaynakların son bulacağı düşüncesini oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise, sürdürülebilir olmaları açısından bugünün enerji ihtiyacını karşılarken gelecek için yok olma tehlikesi taşımamaktadır. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının zaman içerisinde tamamen zarar görmeyecekleri anlamına da gelmemektedir.

Ülkemiz, enerji üretiminde hem yenilenemeyen enerji kaynaklarından hem de yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmaktadır. Ülkemiz için enerji talebinin işletme maliyeti düşük, yerli ve yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerjiden karşılanması önemlidir (DSİ, 2019). Ülkemizde, 25 akarsu havzasında işletmede ve çeşitli proje aşamalarında bulunan, biriktirmeli ve biriktirmesiz birçok HES projesi bulunmaktadır. TEİAŞ 2018 verilerine göre üretilen yıllık toplam 304,802 GWh enerjinin %19,7'si HES'lerden sağlanmaktadır (TÜİK, 2019).

1.1 Çalışmanın Önemi ve Amacı

İnsanların yaşamlarını devam ettirebilmeleri için ihtiyaç duydukları en temel madde sudur. Fakat dünyada kullanılabilir su kaynakları kısıtlı miktarda bulunmaktadır. Küresel ısınmanın etkisi ile zamanla iklimde meydana gelen değişimler, hali hazırdaki kullanılabilir su potansiyellerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etkileri minimum seviyede tutmak, sistemden maksimum faydayı elde etmek ve gelecek nesilleri su temininde riske atmamak ancak su

kaynaklarının dengeli bir şekilde kullanılması ile mümkündür. Bu nedenle su kaynaklarının dengeli kullanımını sağlamak için hidrolojik, topografik, jeolojik ve çevresel durumlar elverişli ise akarsu akışlarını düzenleme, hidroelektrik enerji üretimi, su temini (içme suyu, sanayi suyu ve sulama suyu), taşkın kontrolü gibi birden fazla amaca hizmet eden barajlar tercih edilmektedir. Barajlarda depolanan suyun etkili kullanılması ise barajların amaçlarına uygun şekilde verimli işletilmesine bağlıdır. Ancak barajlar aynı havzada ardışık olarak inşa edilmiş olsalar dahi farklı topografik ve hidrolojik unsurlara sahip oldukları için genel bir işletme kuralından söz edilemez. Bu sebeple, rezervuar işletme politikalarının her bir baraja özel olarak belirlenmesi gerekir.

Rezervuar işletme politikası, ardışık rezervuarların birbirleri ile ilişkilerini, amaçlarını, mansap su ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak belirli zaman aralıklarında rezervuarlarda depolanacak ve salıverilecek su miktarını belirleyen kuralların bütünüdür (Bower ve ark,1962). Rezervuar giriş akımlarının ve diğer ilgili hidrolojik değişkenlerin her yıl sabit kalmaması ve mevsimsel farklılıklar göstermesi, işletme politikalarının güncel tutulmasında en önemli hususlardan biridir.

Rezervuar işletme politikalarına karar verirken belirlenen kısıtlamaların temelinde su kullanımını minimum seviyede tutarak amaçların gerçekleştirilmesi esastır. Eğer rezervuar depolama amaçlarından bir tanesi hidroelektrik enerji üretimi ise, olabildiğince minimum su kullanımı ile maksimum enerji üretimi hedeflenmektedir. Bu durumda, etkili karar verme araçlarından birisi mevcut koşullarda sistemin davranışını değerlendirmeye olanak sağlayan simülasyon modelidir.

Bu çalışmada, Ceyhan Havzası'nda ardışık olarak inşa edilmiş Aslantaş Barajı, Berke Barajı, Sır Barajı'nın mevcut durumda hidroelektrik enerji üretimi ve diğer su kullanımları incelenmiştir. Barajlarda depolanan suyun, barajların amaçları doğrultusunda dengeli salıverilmesi esas alınarak enerji üretiminin maksimum seviyede tutulması hedeflenmiştir. Bu amaçla, geliştirilmiş rezervuar

simülasyon programı olan HEC-ResSim kullanılmıştır. Salıverilen su için çeşitli kurallar tanımlanmıştır. Bu kurallar genel olarak doğal hayat için (çevresel akış) bırakılan suyu, baraj gölünden çekilen kullanma sularını, mansap su tüketimlerini, hidroelektrik enerji üretimi için gerekli olan suyu ve dolusavaktan salıverilen suyu kapsamaktadır.

Bu tez çalışması aşağıda belirtilen bölümlerden oluşmaktadır.

2. bölümde, rezervuar sistemi için simülasyon yöntemi ile ilgili yapılan önceki çalışmalar aktarılmıştır. Farklı yazılımlarla yapılan rezervuar simülasyon çalışmalarına ve özellikle HEC-ResSim yazılımıyla ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

3. bölümde, çalışmanın uygulandığı Ceyhan Havzası tanıtılmıştır. Tez çalışmasının gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan bilgilere yer verilmiş, devamında rezervuar simülasyon modeli olarak kullanılan HEC-ResSim programı tanıtılmıştır.

4. bölümde, simülasyon çalışmasının yapılması için izlenilen yöntem anlatılmış, çalışmanın bulgularına yer verilmiştir.

5. bölümde, çalışmanın bulgularına yer verilmiştir.

6. bölümde, çalışmanın sonuçlarına ve gelecekte yapılacak çalışmalara dair önerilere yer verilmiştir



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Barajlardan istenilen ölçüde verim sağlamak, sistemde bulunan barajlar için etkili ve doğru işletme politikalarının belirlenmesiyle mümkündür. İşletme politikalarının belirlenmesinde, baraj haznelerinde depolanan suyun, barajların amaçları doğrultusunda ve uygun zaman aralıklarında ne kadar miktarda salıverileceği en önemli husustur. Bu husus dikkate alındığında, operatörler ve planlayıcılar doğru kararları alabilmek için karar destek sistemlerinden faydalanabilirler.

Sprague ve Carlson (1982), karar destek sistemlerini ‘karar vericilerin yapılandırılmamış ya da yetersiz tanımlanmış sorunları çözmek için veri ve modelleri kullanmalarına yardımcı olan bilgisayar tabanlı bir sistem’ olarak tanımlamışlardır. Johnson (1986), karar destek sistemlerinin su kaynaklarının yönetiminde, uygulama kararlarının alınması için operatör kararlarının analiz sürecine dahil edilmesine izin verdiği için avantaj sağladığını ifade etmiştir. Karar destek sistemleri olarak simülasyon modelleri, su kaynaklarının yönetiminde tercih edilmektedir.

Araştırmacılar, çalışmalarında rezervuar işletme kurallarına karar vermek için gerçek zamanlı simülasyon modellerinin sonuca ulaşmada etkili olabileceğini ifade etmişlerdir (Simonovic, 1992; Yang ve ark, 1995; Davis ve Hanbali, 2005; Suiadee ve Tingsanchaali, 2007; Rani ve Moreira, 2010; Alemu ve ark, 2011; Bolouri ve ark, 2014; Teegavarapu ve Simonovic, 2014).

Rezervuar sistemi ile ilgili bilinen en eski simülasyon modeli, ABD Ordusu Mühendislerinin 1953 yılında Missouri Nehri üzerindeki altı rezervuar için yaptığı çalışmadır. Devamında Nil Havzası’ndaki rezervuarların büyüklüğü ve ekonomik performanslarıyla ilgili simülasyon çalışması yapılmıştır (Emergy ve Meek, 1960; Dean ve Salstrom, 1998’den).

Yeh (1985), simülasyon dahil olmak üzere rezervuar işletme kuralları belirlenirken kullanılabilecek yöntemlere dair geniş bir çalışma gerçekleştirmiştir. Su kaynağı sistemlerinin çalışmasını incelemek için simülasyonun, planlayıcıların ya da operatörlerin deneyimlerini ve değerlendirmelerini modele dahil eden etkili bir araç olduğunu belirtmiştir.

Choo ve ark. (2016), iklim değişikliği nedeniyle yerel şiddetli yağışların meydana geldiği ve devamında ardışık kurak günlerin görüldüğü Miryang Barajı mansabında, bu durumları kontrol altına almak maksadıyla Blue Barajını inşa etmeyi önermişlerdir. Öncelikle IPET tekniğini kullanarak yağışlı dönemde tahliye edilen su miktarının tahminini yapmışlardır. Ardından CLDT tekniğiyle barajın konumunu belirlemişlerdir. Doğrulama tekniği olarak HEC-ResSim programını kullanmışlardır. 12 senaryo oluşturarak yaptıkları simülasyonların sonucunda, Blue Barajı'nın taşkın kontrolü, hidroelektrik enerji üretimi ve su temini gibi önerilen işlevleri yerine getirebildiğini ifade etmişlerdir.

Shrestha ve ark. (2014), Kulekhani Havzası'nda bulunan nehirlerdeki akış değişimlerini ölçmeyi ve bu değişimlerin elektrik üretimi üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamışlardır. HadCM3 programını kullanarak gelecekteki tüm zaman dilimleri için havzadaki ortalama yağış miktarının tahmininde bulunmuşlardır. Yağış tahminlerine bağlı olarak belirlenen senaryolar doğrultusunda HEC-HMS programıyla günlük nehir akışlarının Mayıs-Eylül ayları arasında azalacağını, Ekim-Nisan ayları arasında artacağını öngörmüşlerdir. Elektrik üretimindeki değişimi analiz etmek için HEC-ResSim programında, HEC-HMS tarafından tahmin edilen günlük nehir akışını rezervuar giriş verisi olarak kullanmışlardır. Yağışlı ve kurak dönemlerde farklı çalışma saatleri için simülasyon yapmışlardır. Hidroelektrik işletme süresi 7 saat/gün varsayıldığında ortalama güç üretiminin en az %30 düşebileceği sonucuna ulaşmışlardır. Bununla birlikte rezervuar kurak aylarda 10 saat/gün ve yağışlı aylarda 4 saat/gün çalıştırıldığında maksimum enerji üretiminde en az %8-13 azalma beklediklerini belirtmişlerdir.

Firoz ve ark. (2018), Vietnam'da Vu Gia Thu Nehir Havzası'nda hidrolojik kuraklığın tarımsal üretimi, su teminini ve hidroelektrik gelişimi nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla 1980-2013 yılları arasındaki hidrolojik verilere dayanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında Başka Bir Modelleme Sistemi (Just Another Modeling System - JAMS)/J2000 modelini kullanarak Vu Gia Thu Bon Nehir Havzası'nın rezervuar giriş akımını ve deşarj süresini simüle etmişlerdir. Aynı zamanda HEC-ResSim modelini kullanarak havzadaki 8 hidroelektrik enerji santralinin simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Kuraklık süresini, şiddetini ve sıklığını farklı zaman ölçeklerinde analiz etmişlerdir. Özellikle kurak dönemlerde havza için güçlü bir hidrolojik kuraklık riski tespit etmişlerdir.

Babel ve ark. (2012), Vietnam'daki La Nga Nehri'ndeki çevresel akış gereksinimlerini tahmin etmek ve daha sonra doğal akış rejiminin hidroelektrik enerji üretimi üzerindeki etkisini belirlemek maksadıyla simülasyon çalışması yapmışlardır. RVA yöntemiyle çevresel akış için gerekli olan akışı belirlemişlerdir. Devamında 2002-2004 aralığındaki günlük akış verilerine dayanarak, mevcut işletme kuralı dahil olmak üzere 5 farklı senaryo için HEC-5 programıyla simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Sistemin tam üretim kapasitesinde çalışması durumunda hidrolojik akımın %24-%27 oranında azalabileceği, güç üretiminin ise %4-%8 oranında artabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Ahn ve ark. (2014), Geum Nehri Havzası'nda inşa edilen regülatörlerin gelecekte işletilmesiyle meydana gelebilecek su tedarik kapasitesi, enerji üretimi ve akış süresindeki değişimleri tahmin etmek amacıyla simülasyon yapmışlardır. Çalışmada SSARR modeli ile günlük doğal akışı belirlemişlerdir. Belirlenen günlük doğal akışlara bağlı olarak, su temini kapasitesini ve enerji üretimini değerlendirmek için HEC-ResSim modeli ile havzanın simülasyonunu yapmışlardır. Barajların ve regülatörlerin birbirlerine bağlı olarak işletilmesi durumunda ilave enerji üretiminin 14,4 GWh ve ilave su temininin 66 milyon m³/yıl olabileceği tespitinde bulunmuşlardır.

Reis ve ark. (2015), bir barajın işletilmesi esnasında, o barajın kıyısında tarımsal üretim yapabilmenin mümkün olup olmadığını araştırmışlardır. Nouang Nehri üzerindeki Nam Gnouang Barajı kıyısında tarımsal üretime olanak sağlayacak şekilde alternatif çalışma kuralları geliştirmişlerdir. Geliştirilen çalışma kurallarına bağlı olarak HEC-ResSim programında havzayı modellemişlerdir. Tarımsal üretim hedefine dayandırılarak yapılan simülasyon sonucunda ortalama yıllık enerji üretiminin %0,4 ile %8,1 arasında azaldığını görmüşlerdir. Fakat Nam Gnouang Barajı'nın konumu dikkate alındığında bu sonucu hem hidroelektrik üretim hem de kıyı şeridi tarımsal üretim hedeflerinin karşılanması hususunda makul bulmuşlardır. Daha uygun konumdaki barajlar için kıyı şeridi tarımsal üretimin mümkün olabileceği yönünde çıkarımda bulunmuşlardır.

Yu ve ark. (2013), Kore'de Nagdong Nehri üzerindeki Andong ve Imha rezervuarlarındaki su verimini yeniden değerlendirmek ve mansap su taleplerinin artışına bağlı olarak ilave su temin etme olasılığını değerlendirmek amacıyla simülasyon çalışması yapmışlardır. Çalışmada, 30 yıllık (1979-2008) hidrolojik verileri göz önünde bulundurarak Standart Rezervuar İşletme Kuralı (Standard Reservoir Operation Rule - SOP) ve Hec- ResSim modellerini kullanmışlardır. Her iki rezervuar için su veriminin master planda belirlenen verimden daha düşük olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Simülasyon sonuçlarından yola çıkarak bir rezervuarın veriminin değerlendirilmesinde, kriterlerden biri olarak su arz güvenliği kullanıldığında kuraklığın, taşkın koşullarının ve havzanın gelecekteki su talebinin dikkate alınması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Bosona ve Gebresenbet (2010), yıllık enerji üretimini artırmak amacıyla Etiyopya'da Melka Wakana Hidroelektrik Santrali'ni Powersim Simülasyon yazılımını kullanarak modellemiştir. Simülasyon analizlerinin sonuçları, yıllık enerji üretiminin %5,67 oranında artarken, buharlaşma kaybının %38,33 oranında azaldığını göstermiştir. Bununla birlikte santralin tasarım kapasitesinin %12,21'i kadar altında enerji üretimi yaptığı sonucuna ulaşmışlardır. Bu duruma su

kayıplarının sebep olabileceğini ifade etmişlerdir ve hem yer altı hem de yüzey su kayıplarının detaylı incelenmesi gerektiği önerisinde bulunmuşlardır.

Leitman ve Kiker (2015), Apalachicola–Chattahoochee–Flint Havzası için geliştirilen ACF-STELLA simülasyon modelinin performansını değerlendirmek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada sekiz farklı alan için ACF- STELLA modelinin HEC- ResSim modeli ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Her iki modelde de 1939-2018 yılları arasındaki havzayı temsil eden verileri ve aynı işletme kurallarını kullanmışlardır. Modellerde elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında, sekiz alanın altısında günlük çıktılar arasında güçlü bir uyum olduğunu tespit etmişlerdir. Genel olarak ACF-STELLA simülasyon modelinin kullanıcıları tatmin edecek şekilde çalıştığı sonucuna ulaşmışlardır. Aynı zamanda farklı simülasyon modellerinin, çeşitli su yönetimi tahminlerine güveni artırmak, işletme kurallarını kontrol etmek ve doğrulamak için kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Gobetti (2018), çalışmasında Panama Kanalı'ndaki su kaynakları için planlanan farklı projelerin değerlendirmesini yapmıştır. Rezervuar sistemlerinin HEC-ResSim modellerini, Panama ve Colon şehirleri için potansiyel su kaynaklarını değerlendirmek, Gatun Barajı ve Alhajuela Barajı hidroelektrik enerji üretimini incelemek için kullanmıştır. Simülasyonu, kurak ve aşırı yağışlı dönemlerin de dahil olduğu 1960-2010 yılları arasındaki aylık net yağışlar için gerçekleştirmiştir. Gatun Baraj Gölü'nde 1985-1995 yılları için gözlenen seviyeler ve simülasyon sonucunda beklenen seviyeler arasındaki farkları Determinasyon Katsayısı, Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı ve Kare ortalamalarının Kare Kökü ile belirlemiştir. Bu farkların kabul edilebilir düzeyde olması sebebiyle HEC-ResSim programının su kaynaklarının değerlendirilmesi için etkili bir araç olabileceğini ifade etmiştir.

Ziaei ve ark. (2012), çalışmalarında tahsis edilen su miktarı ile mansap su taleplerini karşılayabilmek için optimum bir işletme politikası uygulamayı ve Zayandeh Rud Rezervuarı için 47 yıllık (1957-2003) optimize edilmiş verileri

kullanarak rezervuar işletme koşullarını simüle etmeyi hedeflemişlerdir. Optimize edilmemiş veriler ve LINGO kullanılarak optimize edilen veriler için HEC-ResSim ile simülasyon yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar Zayandeh Rud Rezervuarı'nın depolamasını %88,9 oranında, rezervuarın doluluk süresini yaklaşık %5,2 oranında artırdığını ve rezervuarın boş kaldığı süreyi yaklaşık %18,6 oranında azalttığını göstermiştir. Aynı zamanda su temininde %6,1 artış ile avantaj elde etmişlerdir.

Piman ve ark. (2016), Mekong Nehri'nin alt havzaları olan Srepok, Sesan ve Srekong Nehirleri'ndeki mevcut ve önerilen barajların akış rejimini ve enerji üretimini nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla çalışmalarını, SWAT ve Hec-ResSim modellerinin kombinasyonu ile gerçekleştirmişler. 1986-2005 yılları arasındaki iklim verilerine dayanarak günlük akımları SWAT programıyla elde etmişlerdir. Elde edilen günlük akım verilerini HEC-ResSim programına giriş verisi olarak kullanmışlardır. Düzenlenmemiş akım koşulları, mevcut ve önerilen barajların da dahil edildiği 4 farklı senaryo doğrultusunda simülasyon yapmışlardır. Önerilen yedi büyük barajı tekli olarak değerlendirdiklerinde su depolama kapasitesini artırdığını ancak enerji üretimini azalttığını belirlemişlerdir. Fakat ardışık barajları birlikte değerlendirdiklerinde, depolama kapasitesinin daha az olmasına rağmen enerji üretiminin arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Seyoum ve Theobald (2014), Omo Gibe Hehir Havzası'nda planlama aşamasında olan ardışık barajların, gelecekte inşa edilmesinin ardından havzadaki enerji ve su potansiyelini değerlendirmek amacıyla simülasyon çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada, HEC-ResSim modeli için günlük giriş akım verilerini SWAT modeliyle belirlemişlerdir. Havzanın mevcut ve gelecekteki durumunu dikkate alarak işletme kuralları oluşturmuşlardır. Bu işletme kurallarının enerji üretimini %25-%45 oranında artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Aynı zamanda taşkın simülasyon sonuçlarına dayanarak kurak mevsimlerde su kullanımının artabileceğini, yağışlı dönemlerde taşkın riskinin azalabileceğini ifade etmişlerdir.

Park ve Kim (2014), Güney Kore'deki iklim değişikliğinin Chunju Barajı üzerindeki potansiyel etkilerini, özellikle su ve hidroelektrik arzının güvenilirliğini

göz önüne alarak incelemişlerdir. İklimde öngörülen değişime bağlı olarak senaryolar ve işletme kuralları oluşturarak HEC-ResSim programında simülasyon yapmışlardır. Bu işletme sonuçlarına bağlı olarak, 2080’lerde su temininde %19,8 ile %56,5 arasında, hidroelektrik enerji üretiminde %33,9 oranında bir artış beklediklerini ifade etmişlerdir. Yaygın olarak kabul görmüş bir gelecek olgusu olan iklim değişikliğine uyum sağlamak için simülasyon çalışmalarının yapılmasının, gelecekteki karar vericiler için faydalı olacağını ileri sürmüşlerdir.

Stanzel ve Kling (2014), Güney Afrika’da bölgesel öneme sahip olan, bünyesinde dört ardışık baraj barındıran Aşağı Zambei havzası için iklim değişikliğinin hidroelektrik enerji üretimi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla kurak ve yağışlı iki iklim senaryosu geliştirmişlerdir. Bu senaryolar doğrultusunda HEC-ResSim programıyla rezervuar ve hidroelektrik santrallerin simülasyonunu yapmışlardır. Simülasyon sonuçları hidroelektrik enerji üretiminde yağışlı iklim senaryosuna göre artış; kurak iklim senaryosuna göre 2021-2050 yılları arasında %6’lık azalma, 2071-2100 yılları arasında %13’lük azalma göstermiştir. Bu çalışmadan hareketle hidroelektrik sistemlerin teknik tasarımında iklim riskini göz önüne almanın önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Uysal (2012), çok amaçlı işletilen Yuvacık Barajı’nın su temini için uzun süreli ve taşkın kontrolü için kısa süreli olmak üzere iki farklı zaman ölçeğinde, simülasyon modeli ile karar destek sistemi geliştirmiştir. 2007-2011 yıllarına ait veriler doğrultusunda üç farklı senaryo oluşturarak HEC-ResSim programında simülasyon yapmıştır. HEC-HMS programında elde edilen akım tahminlerini, sisteme günlük giriş verisi olarak kullanmıştır. Yaptığı hem kısa süreli hem de uzun süreli işletme çalışmasında taşkın riski görülmediği sonucuna ulaşmıştır.

Özbakır (2009), Seyhan ve Ceyhan Havzalarının su potansiyelini incelemek amacıyla rezervuar işletme çalışması yapmıştır. Çalışmasında havzalardaki mevcut, inşa halinde ve planlama aşamasında bulunan barajları dikkate alarak alternatif işletme politikaları belirlemiştir. Simülasyon sonucunda Ceyhan Havzası’nın su teminini sağladığı ancak Seyhan Havzası’nda bulunan

barajların depolama alanının yetersiz kaldığını ve bu depolanamayan suların Akdeniz'e döküldüğünü gözlemlemiştir. Bu depolama yetersizliğine bağlı olarak Seyhan Havzası'nın su teminini sağlayamadığı sonucuna ulaşmıştır. Seyhan Havzası'nda kullanılmadan Akdeniz'e dökülen suların Ceyhan Havzası'na aktarıldığı durumu incelemiştir. Fakat son zamanlarda küresel ısınmanın etkisiyle su potansiyellerindeki düşüşlerin, Seyhan ve Ceyhan Havzaları arasındaki su transferine olanak sağlayıp sağlamayacağının tekrar incelenmesi gerektiğini belirtmiştir.

Akbulut (2003), bünyesinde çok amaçlı ardışık baraj barındıran Ceyhan Havzası için HEC-5 programıyla rezervuar işletme çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmasında, planlama aşamasında bulunan barajların tamamlanması halinde Aslantaş Barajı'nın su teminini sağladığı fakat enerji üretim potansiyelini 232,8 GWh/yıl değerinden 144 GWh/yıl değerine düşürdüğü sonucuna ulaşmıştır. Su temininin Aslantaş Barajı yerine diğer su kaynaklarından sağlanması durumunda barajın enerji üretme kapasitesindeki değişimin ayrıca değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

3. ÇALIŞMA ALANI ve METOT

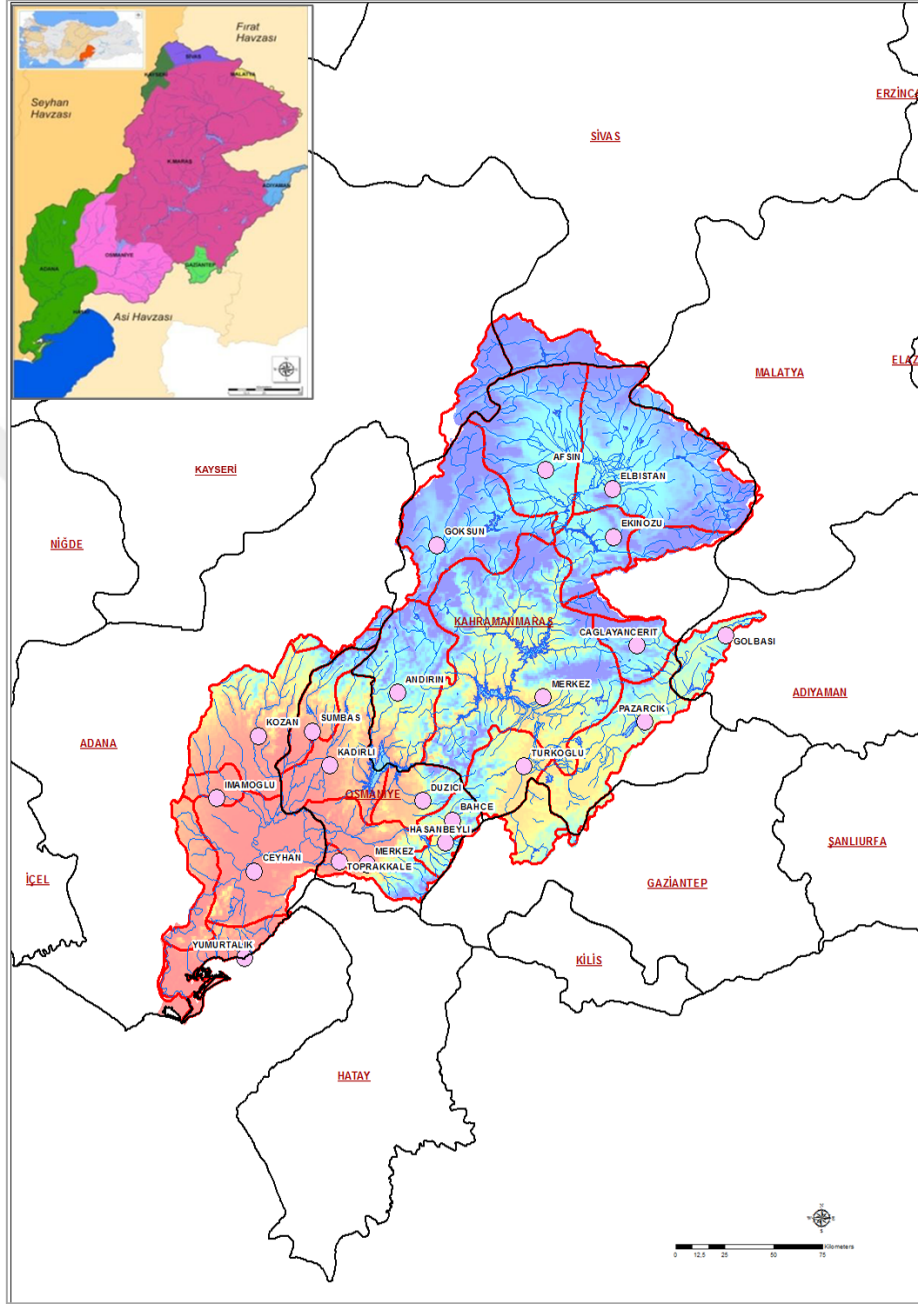
3.1. Çalışma Alanı

3.1.1. Ceyhan Havzası

Ceyhan Havzası, 36°55' ile 38°72' kuzey enlemleri 35°45' ile 37°81' doğu boylamları arasında Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesi'nde bulunmaktadır (Şekil 3.1). 21391 km²'lik yüz ölçümüne sahiptir. Başta Kahramanmaraş, Adana, Osmaniye illeri olmak üzere Sivas, Gaziantep, Adıyaman, Kayseri illerinin tamamını veya bir kısmını kapsayan Ceyhan Havzası batıda Seyhan, kuzeyde ve doğuda Fırat, güneyde Asi ve Fırat havzaları ile sınırlanmıştır (DSİ, 2016).

Havza alanı yer şekilleri bakımından genel olarak dağlık görünüme sahiptir. Ceyhan havzası yer şekilleri ve iklim özellikleri dikkate alınarak üç alt havzaya ayrılmıştır.

- **Yukarı Ceyhan Havzası:** Yağış alanı 6248 km²'dir. Ceyhan Havzası'nın başlangıcı ile Kandil mevkiindeki akım gözlem istasyonu arasında kalan alandır. Karasal iklim hakimdir. Havza, yükseklikleri 1000-1500 m arasında değişen ovalara ev sahipliği yapmaktadır.
- **Orta Ceyhan Havzası:** 6702 km²'lik yağış alanına sahiptir. Kandil mevkiindeki AGİ ile Sır Barajı arasında bulunur. Akdeniz iklimi ile Karasal iklim arasında geçişin yaşandığı bölgedir. Havzada kotları 300-1000 m arasında değişen ovalar bulunur.
- **Aşağı Ceyhan Havzası:** 8441 km²'lik drenaj alanına sahip olan havza Sır Barajı'nın mansabı ile Akdeniz arasında bulunur. Akdeniz iklimi görülür. Havzadaki ovaların yükseklikleri 0-300 m arasındadır.



Şekil 3.1. Ceyhan Havzası'nın Türkiye'deki konumu (DSİ, 2016)

3.1.2. Ceyhan Nehri

Toplam uzunluğu 509 km olan Ceyhan Nehri, Elbistan ilçe merkezinin 3 km doğusunda Pınarbaşı Mevkii'nde karstik kaynaklardan doğar. Söğütlü Çayı (58 km), Sarsap Deresi, Hurman Çayı (74 km) ve Göksun Çayı'nın (69 km) katılmasından sonra Yukarı Ceyhan Havzası'nı oluşturur. Devamında Nergele Çayı (26 km) ve Dutlupınar Deresi ile birleşerek Menzelet Baraj Gölü'ne dökülür. Menzelet Barajı'na kuzeyde Çemrengeç ve Okkayas, batıda Fırnız ve Tekir dereleri, doğuda Bertiz Çayı katılır. Menzelet Barajı'ndan salıverilen sular önce Kılavuzlu Barajı'na ardından Sır Baraj Gölü'ne gider. Doğudan Ceyhan Nehri'ni besleyen en uzun çay olan Aksu Çayı (110 km) ve batıdan Körsulu Deresi Sır Baraj Gölü'ne dökülür. Sır Barajı'ndan türbinlenen sular sırasıyla Berke ve Aslantaş Barajlarından geçerek yoluna devam eder. Batıdan Andırın Çayı ve Keşiş Suyu, doğudan Sabunsuyu Aslantaş Barajı'na deşarj olarak Ceyhan Nehri'ne katılır. Ceyhan Nehri, Aslantaş Barajı'nın mansabında Oşkan ve Berkman nehir santrallerinden geçerek Cevdetiye Regülatörüne ulaşır. Regülatörün akış aşağısında Savrun ve Sumbas Çayları ile birleşerek, güneye doğru akmaya devam eden Ceyhan Nehri İskenderun Körfezi'nde Akdeniz'e dökülür (DSİ, 2016).

3.1.3. Ceyhan Havzası Su Potansiyeli

Ceyhan Havzası'nda sulama, içme-kullanma suyu temini, hidroelektrik enerji üretimi, havzalar arası su aktarma gibi farklı amaçlara hizmet eden projeler mevcuttur. Hali hazırda işletmede olan 13 baraj, inşa halinde veya planlama aşamasında olan 17 baraj bulunmaktadır. Yer üstü sulama projelerinin toplam alanı 190642 ha olmasına karşılık sulanan alan 141057 ha'dır.

Yukarı Ceyhan Havzası'nda Adatepe ve Kandil Barajları işletmede, Karakuz, Söğütlü, Hasanali, Kavaktepe, Salyan Barajları ise planlama aşamasındadır.

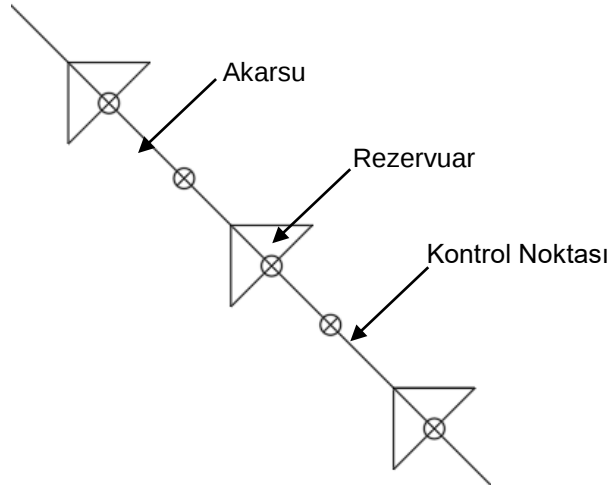
Orta Ceyhan Havzası'nda Menzelet, Kılavuzlu, Kartalkaya, Ayvalı ve Sır Barajları işletmede, Sarıgözel, Haydarlı, Aksu, Kısık, Ballıkaya, Çınarlı, Özbek, Geben Barajları gelişme durumundadır.

Aşağı Ceyhan Havzası'nda Berke, Aslantaş, Kalecik, Kozan ve Mehmetli barajları işletme durumdadır ve Değirmen, Çatak, Savrun Barajlarının yapımı planlanmaktadır.

3.2. Metot

3.2.1. Genel

Kullanılabilir su kaynaklarını geliştirmek, taşkınları önlemek, akarsuların düzensiz akış rejimlerini kontrol altına almak için barajlar ve ilave yapılar gereklidir. Rezervuar sistemlerini ardışık veya paralel barajlar, çıkış yapıları, iletim kanalları, hidroelektrik santraller, kavşaklar oluşturur (Şekil 3.2). Rezervuar sistemlerinin ilgili hidrolojik unsurların ve kurumsal düzenlemelerin dikkate alınarak işletilmesi gerekir. Depolama kapasitesine bağlı olarak proje amaçları doğrultusunda sistemden suyun salıverilmesi için işletme politikası belirlenir. İşletme politikası belirlenirken barajların depolama bölgeleri dikkate alınır (Wurbs, 2005).

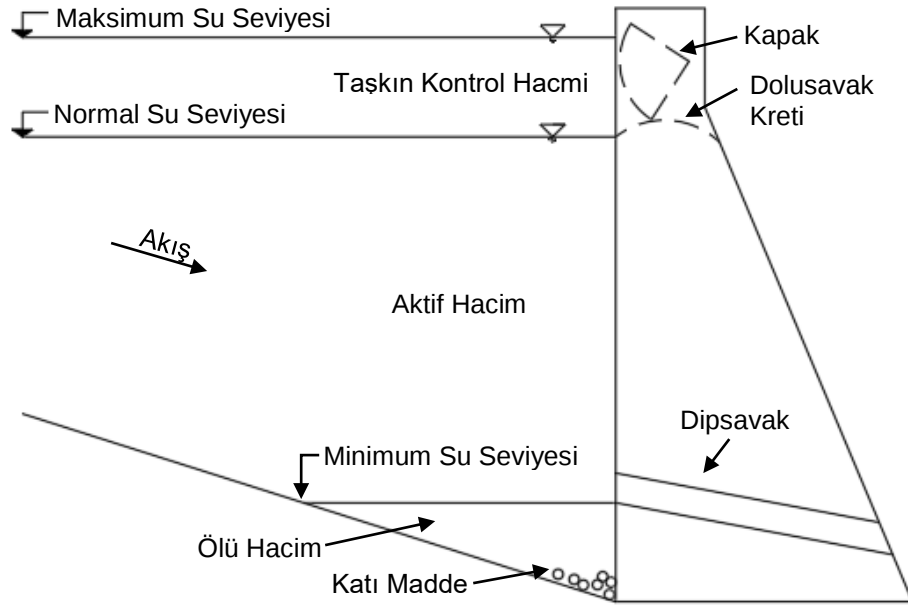


Şekil 3.2 Ardışık barajların oluşturduğu rezervuar sisteminin şematik görünüşü (Wurbs, 2011)

Ölü hacim, barajın ekonomik ömrü sonunda birikmesi beklenen katı madde miktarına göre belirlenen hacimdir.

Aktif hacim, normal su seviyesi ve minimum su seviyesi arasında kalan, yüksek akışın veya su talebinin düşük olduğu dönemlerde barajın amacına bağlı olarak suyun depolandığı hacimdir. Aktif hacim mevsimsel dalgalanmalardan ötürü yıl içerisinde farklılık göstermektedir. Genellikle işletme kurallarına karar verirken hedef depolama için aktif hacim belirlenir. Aktif hacmin su seviyesi kural eğrisi olarak tanımlanır.

Taşkın kontrol hacmi, beklenen en büyük taşkına göre belirlenen ve taşkın olmadığı zamanlarda boş tutulan hacimdir.



Şekil 3.3. Tipik bir baraja ait depolama zonları, (Yanmaz, 2018)

3.2.2.Rezervuar Simülasyon Modeli

Rezervuarlar taşkın kontrolü, su temini, hidroelektrik enerji üretimi, rezervuar gölünün rekreasyonel kullanımı gibi birden fazla amaca hizmet edecek

şekilde işletilirler. Her bir amacı yerine getirebilmek için suyun rezervuarlarda korunması ve kontrollü olarak salıverilmesi gerekir. Ancak suyun farklı amaçlar için salıverilmesi birçok kısıtlamayı beraberinde getirir. Bu kısıtlamaları ve amaçları karşılayacak doğrultuda işletme kurallarının belirlenmesini kolaylaştırmak gayesiyle rezervuar simülasyon modelleri geliştirilmiştir (Wurbs, 2005).

Simülasyon, sistemin özelliklerini matematiksel olarak temsil eden ve belirli şartlar altında sistemin davranışını tahmin etmek için kullanılan tekniktir (Yeh,1985).

Rezervuar simülasyon modeli, her bir ardışık zaman aralığında kullanıcı tarafından belirlenen senaryolar altında sistemin çalışma kurallarını belirlemek maksadıyla kullanılır. Bir rezervuar sistemi simülasyon modeli, giriş akımları ile çıkış akımları arasındaki su dengesine dayanarak rezervuarın fiziksel verilerini, hidrolojik verilerini, belirlenen çalışma kurallarını göz önünde bulundurarak ön görülerde bulunur. Sistem performansı depolama seviyeleri, deşarj edilen su miktarı, üretilen hidroelektrik enerji gözlemlenerek değerlendirilir. Ayrıca hidroelektrik enerji gelirleri, taşkın zararları ve çeşitli amaçlarla ilişkili ekonomik faydalar gibi ekonomik performans ölçütlerinin de değerlendirilmesine olanak sağlar (Wurbs, 1993).

Bir barajın t anında işletilmesine dair su denge denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$S_t = S_{t-1} + I_t - R_t - Q_t - B_t$$

Burada;

S_t : t süre sonundaki rezervuar depolaması

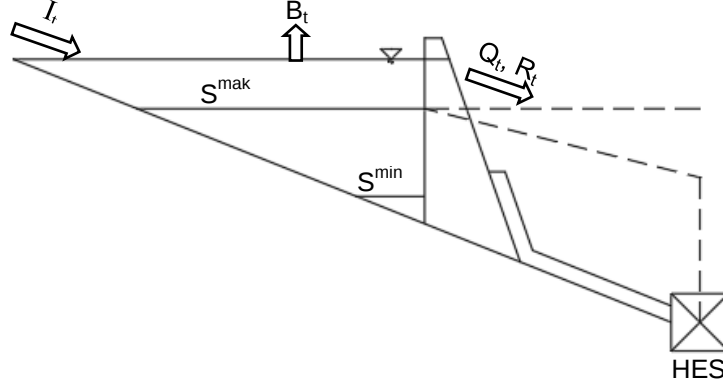
S_{t-1} : t-1 süre sonundaki rezervuar depolaması

I_t : t sürede rezervuar giriş akımı

Q_t : t sürede enerji üretimi için salıverilen su miktarı

R_t : t sürede rezervuar çıkış (doluşavak + su temini) akımı

B_t : t sürede buharlaşma miktarı



Şekil 3.4. Tipik bir barajın t zamanında işletilmesine dair giriş ve çıkış verileri (Opan, 2007)

3.2.3. Genelleştirilmiş Simülasyon Modelleri

Her nehir havzası kendi doğal koşulları, yapısı ve yönetim hedefleri ile eşsiz bir sistemdir. Genelleştirilmiş simülasyon modeli, hem bir rezervuar sistemini simüle etmede kazanılan deneyimi başka bir çalışmaya aktarmak hem de rezervuar sistemlerinin ortak işlevlerini araştırmak amacıyla ortaya çıkmıştır (Shnaydman, 1992).

Genelleştirilmiş simülasyon modelleri, herhangi bir havzaya uygulanabiliyor olması, kendi içerisinde hesaplamalı algoritmalar ve veri yönetim yapıları bulundurması açısından avantaja sahiptir. Kullanıcılara matematiksel algoritmalar formüle etmeden ve kod yazmadan girdi verilerinin oluşturması için olanak sağlar (Wurbs, 2005). Bu tez çalışmasında kullanılan HEC-ResSim, genelleştirilmiş rezervuar simülasyon modellerindendir.

3.2.4. HEC-ResSim (Hydrologic Engineering Center-Reservoir System Simulation)

HEC-ResSim ABD Ordusu Mühendisler Birliği Su Kaynakları Enstitüsü Hidroloji Mühendisliği Merkezi (U.S. Army Corps of Engineers, Enstitute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center) tarafından geliştirilmiştir. HEC-

ResSim HEC-5, Taşkın Kontrol ve Koruma Sistemlerinin Simülasyonu' programının halefidir. Program, farklı amaçlar ve kısıtlamalar için bir veya daha fazla rezervuardaki işletme kurallarını modellemek için kullanılır. Aynı zamanda HEC-ResSim gerçek zamanlı işletme çalışmalarında karar destek sistemi olarak tercih edilir. Program, farklı alternatiflerin ve simülasyonların aynı anda çalıştırılmasına olanak sağlar. Giriş ve çıkış zaman serisi verilerinin depolanması için HEC-DSS (HEC-Data Storage System), grafik ara yüzü için GUI (Graphical User Interface) ve simülasyon yapmak için hesaplama programı içerir (HEC, 2013).

HEC-ResSim, modül adı verilen üç işlev kümesine ayrılmıştır. Bu modüller havza kurulum modülü, rezervuar ağ modülü ve simülasyon modülüdür. Her modül kendi içerisinde belirli komutlar içermektedir.

3.2.4.1. Havza Kurulum Modülü (Watershed Setup)

Watershed Setup modülünde havzanın fiziksel düzenlemesi yapılır. Havzanın sınırları belirlenir ve havzanın bütün bileşenlerinin oluşturulması için ortak bir çerçeve oluşturulur. Bu modülde nehir güzergâhı çizilir, havzanın arka plan haritaları ve hesaplama noktaları tanımlanır. Havzada bulunan rezervuarlar, ıslah sekisi gibi diğer yapıların tanımlanmasına da olanak sağlar.

3.2.4.2. Rezervuar Ağ Modülü (Reservoir Network)

Havza kurulum modülünde genel hatlarıyla havza oluşturulduktan sonra rezervuar ağ modülüne geçilir. Havza kurulum modülünde oluşturulan şablon üzerinde yeni bir rezervuar ağı oluşturulur ya da mevcut rezervuar ağı üzerinden düzenlemeler yapılır. Rezervuar ağ elemanlarının fiziksel bileşenleri, işletme kuralları tanımlanır ve analiz edilecek alternatifler modele aktarılır. HEC-ResSim, bu bölümde tanımlanan kuralları esas alarak simülasyon yaptığı için kurallar önceliklerine göre sıralanır.

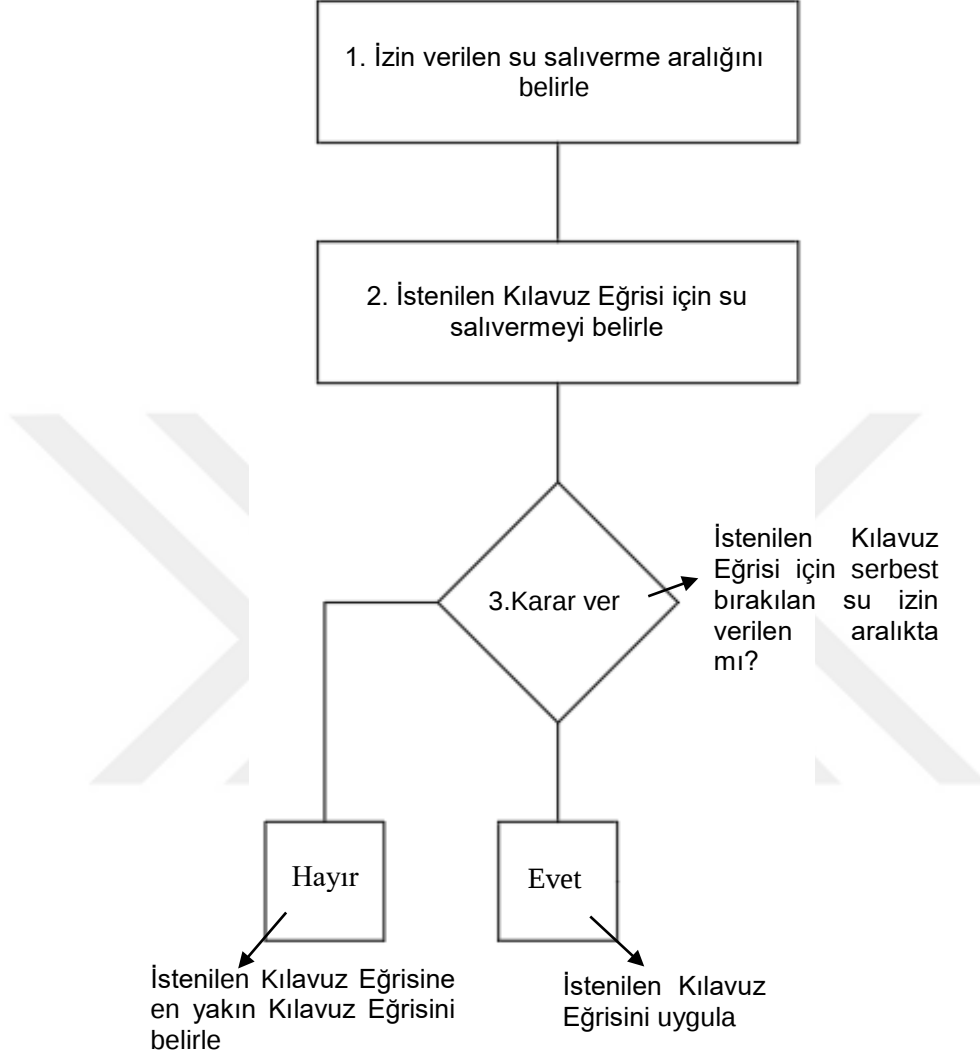
Alternatif sekmesinde, simülasyonun başlangıç şartları belirlenir, giriş akımı zaman serisi verileri yüklenir, gözlenen veriler mevcutsa sisteme aktarılır.

Simülasyon tipi ve zaman adımı bu bölümde belirlenir. Birden fazla alternatif oluşturulabilir ve her alternatif için simülasyon ayrı ayrı yapılır.

3.2.4.3. Simülasyon Modülü (Simulation Module)

Rezervuar ağı ve alternatifler tanımlandıktan sonra simülasyonu yapılandırmak için simülasyon modülü kullanılır. Simülasyonun yapılacağı zaman aralıkları ve alternatifler belirlenir. Simülasyon hesaplamaları yapılır, sonuçlar tablo ve grafiksel olarak görüntülenir. Simülasyonun tamamlanmasının ardından 'rss' klasöründe 'simulation.dss' dosyasında belirlenen alternatife bağlı olarak çalışmanın girdi ve sonuç verilerine ulaşılır.

HEC-Ressim'in temel karar verme mantığı Şekil 3.5'te ifade edilmiştir (Klipsch, 2007; Uysal, 2012'den).

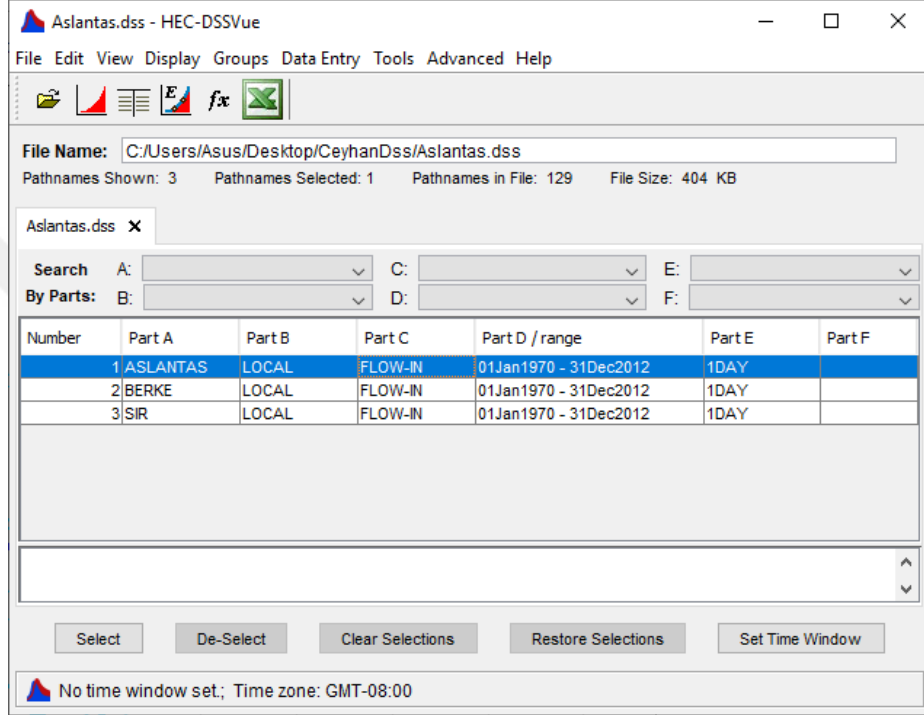


Şekil 3.5. HEC-ResSim karar verme mantığı (Klipsch, 2007: Uysal, 2012'den)

3.2.4.4 HEC-DSSVue

Hidrolojik Mühendislik Merkezi'nin (HEC) Veri Depolama Sistemi Görsel Hizmet Motoru (HEC-DSSVue), HEC Veri Depolama Sistemi (HEC-DSS) veri tabanı dosyalarındaki verileri görüntülemek, düzenlemek ve değiştirmek için kullanılan grafiksel bir kullanıcı arabirim programıdır. HEC-DSSVue ile elliden fazla matematiksel fonksiyonla veriler düzenlenebilir, tablo haline getirilebilir.

HEC-ResSim yazılımı için HEC-DSSVue arabirim programında giriş verileri zaman serisi formatında hazırlanmaktadır. Simülasyon sonrası sonuçların depolanmasında kullanılmaktadır (HEC, 2009).



Şekil 3.6. HEC-ResSim için giriş verilerinin hazırlandığı HEC-DSSVue ara yüzü

3.3. Simülasyon için Gerekli Veriler

Simülasyon sonuçlarının kabul edilebilir olması açısından çalışmada kullanılan veriler önem taşımaktadır. Çalışmada yer verilen yapıların fiziksel kapasitelerinin modele doğru aktarılması ve devamında kısıtlayıcı kuralların tanımlanması için veri gereklidir. Bu çalışma, DSİ 6. Bölge Müdürlüğü, DSİ 20. Bölge Müdürlüğü ve EÜAŞ'tan elde edilen veriler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışmasında kullanılacak veriler bu bölümde açıklanmaktadır.

3.3.1 İşletme Çalışması Yapılan Barajlar

3.3.1.1. Aslantaş Barajı ve HES

Aslantaş Barajı, Ceyhan Nehri üzerinde Aşağı Ceyhan Havzası'nda kil çekirdekli zonlu toprak dolgu baraj olarak inşa edilmiştir. Sulama, su temini, taşkın ve enerji amaçlı olarak DSİ tarafından 1984 yılında işletmeye açılmıştır. Hali hazırda EÜAŞ tarafından işletilmektedir.

Barajın teknik karakteristikleri aşağıda verilmiştir (DSİ, 2016).

Hidroloji

Drenaj alanı	: 14874 km ²
Ortalama doğal akımı	: 5604 hm ³ /yıl

Göl

Maksimum su kotu	: 155 m
Normal işletme kotu	: 146 m
Minimum su kotu	: 130 m

Gövde

Kret kotu	: 160 m
Kret uzunluğu	: 566 m
Kret genişliği	: 10 m
Talveg kotu	: 82 m
Yükseklik	: 78 m (talvegden)
Yükseklik	: 95 m (temelden)
Gövde dolgu hacmi	: 8493000 m ³

Dolusavak

Dolusavak tipi	: Karşıdan alıslı, radyal kapaklı
Dolusavak eşik kotu	: 139 m
Dolusavak kapak sayısı	: 6 adet
Dolusavak deşarj kapasitesi	: 13800 m ³ /s

Enerji

Kurulu güç	: 138 MW (3 x 46 MW)
------------	----------------------

Kuyruk suyu kotu	: 84,15 m
Ünite sayısı	: 3 adet
Düşü	: 62 m (brüt)
Q_{proje}	: 270 m ³ /s
Üretilen güvenilir (firm) enerji	: 320 GWh/yıl
Üretilen ikincil (sekonder) enerji	: 249 GWh/yıl
Üretilen toplam enerji	: 569 GWh/yıl

3.3.1.2. Berke Barajı ve HES

Berke Barajı, Ceyhan Nehri üzerinde Aşağı Ceyhan Havzası'nda çift eğrili ince kemer baraj olarak inşa edilmiştir. Aslantaş Barajı'nın membasında, Sır Barajı'nın mansabında yer almaktadır. Enerji amaçlı olarak EÜAŞ tarafından işletilmekte olan baraj 2002 yılında işletmeye açılmıştır.

Barajın teknik karakteristikleri aşağıda verilmiştir (DSİ, 2019).

Hidroloji

Drenaj alanı	: 13500 km ²
Ortalama doğal akım	: 4511 hm ³ /yıl

Göl

Maksimum su kotu	: 345 m
Normal işletme kotu	: 345 m
Minimum su kotu	: 290 m

Gövde

Kret kotu	: 346 m
Kret uzunluğu	: 270 m
Kret genişliği	: 460 m
Talveg kotu	: 145 m
Talvegden yükseklik	: 186 m
Temelden yükseklik	: 201 m
Beton hacmi	: 735500 m ³

Dolusavak

- Tünel dolusavak tipi : Açılır kapanır bir savak sistemi
Kapak sayısı : 2 adet
Giriş kotu : 290 m
Deşarj kapasitesi (her biri) : 2755 m³/s
- Gövde yüzey dolusavak tipi : Radyal kapak
Kapak sayısı : 4 adet
Giriş kotu : 337,50 m
Deşarj kapasitesi (her biri) : 500 m³/s

Dipsavak

- Dipsavak tipi : Gövde üzerinde giriş kapaklı
- Dipsavak eşik kotu : 207,80 m
- Dipsavak kapak sayısı : 2 adet
- Dipsavak deşarj kapasitesi (her biri) : 215 m³/s

Enerji

- Kurulu güç : 514,50 MW
- Kuyruk suyu kotu : 159 m
- Ünite sayısı : 3 adet
- Düşü : 186,31 m (net)
- Q_{proje} : 100 m³/s
- Üretilen güvenilir (firm) enerji : 921 GWh/yıl
- Üretilen ikincil (sekonder) enerji : 748 GWh/yıl
- Üretilen toplam enerji : 1669 GWh/yıl

3.3.1.3 Sır Barajı ve HES

Sır Barajı, Berke Barajı'nın membasında Aşağı Ceyhan Havzası'nda yer almaktadır. Beton kemer tipinde inşa edilmiştir ve 1991 yılında işletmeye açılmıştır. Enerji amaçlı olarak EÜAŞ tarafından işletilmektedir.

Barajın teknik karakteristikleri aşağıda verilmiştir (DSİ, 2019).

Hidroloji

Drenaj alanı	: 12950 km ²
Ortalama doğal akımı	: 4241 hm ³ /yıl

Göl

Maksimum su kotu	: 440 m
Normal işletme kotu	: 436 m
Minimum su kotu	: 417,50 m

Gövde

Kret kotu	: 443 m
Kret uzunluğu	: 327 m
Kret genişliği	: 4,50 m
Talveg kotu	: 337,50 m
Yükseklik	: 105,50 m (talvegden)
Yükseklik	: 116 m (temelden)
Beton hacmi	: 306760 m ³

Dolusavak

Dolusavak tipi	: Gövdeye bitişik, radyal kapaklı
Dolusavak eşik kotu	: 423 m
Dolusavak kapak sayısı	: 3 adet
Dolusavak deşarj kapasitesi	: 7646 m ³ /s (3 kapak toplam deşarj)

Dipsavak

Dipsavak tipi	: Gövde üzerinde radyal kapaklı
Dipsavak eşik kotu	: 326,25 m

Dipsavak kapak sayısı	: 1 adet
Dipsavak deşarj kapasitesi	: 700 m ³ /s

Enerji

Kurulu güç	: 261 MW
Ünite sayısı	: 3 adet
Düşü	: 89,28 m (net)
Q _{proje}	: 114,25 m ³ /s
Üretilen güvenilir (firm) enerji	: 408,4 GWh/yıl
Üretilen ikincil (sekonder) enerji	: 316,5 GWh/yıl
Üretilen toplam enerji	: 724,9 GWh/yıl

3.3.2 Su Temin Değerleri

HEC-ResSim, simülasyon süresinin her bir zaman aralığında giriş verisine ihtiyaç duyar. Giriş verisi, uzun yıllar boyunca baraj haznesine gelen akım gözlem istasyonlarında ölçülen veya istatistik yöntemler ile elde edilen doğal akımlardır.

Bu tez çalışmasında, Ceyhan Havzası'nda bulunan barajlara ait doğal akım değerleri Devlet Su İşleri'nden (DSİ) temin edilmiştir. Ceyhan Havzası Master Planı'nda bulunan 42 yıla ait (1970-2012 yılları arası) aylık doğal akım verileri kullanılmıştır. Ceyhan Havzası'nda hâlihazır durumda mevcut ve çeşitli proje seviyelerinde planlanma aşamasında olan baraj yerlerinin aylık doğal akım değerleri hesaplanırken, baraj yerlerine en yakın akım gözlem istasyonlarının su temin tablosundan yararlanılmıştır. Barajların doğal akımlarının hesaplanmasında AGİ'lerin memba net su tüketimleri, havzalar arası su aktarımı, drenaj suları dikkate alınmıştır (DSİ, 2016). Baraj aks yerinde AGİ'nin bulunmaması durumunda baraj aks yerine en yakın AGİ veya AGİ'lerin su temin değerleri alanlar oranı ile taşınmıştır. Taşıma aşağıdaki gibi üç şekilde yapılır:

- Basit Taşıma ile;

$$Q_{\text{Baraj}} = Q_{\text{AGİ}} \times \left(\frac{DA_{\text{Baraj}}}{DA_{\text{AGİ}}} \right) \quad (3.1)$$

- Ortalama yağışların dahil edilmesiyle;

$$Q_{\text{Baraj}} = Q_{\text{AGİ}} \times \left(\frac{DA_{\text{Baraj}}}{DA_{\text{AGİ}}} \right) \times \left(\frac{P_{\text{Baraj}}}{P_{\text{AGİ}}} \right) \quad (3.2)$$

- Baraj aksı iki AGİ'nin arasında kalıyorsa, iki AGİ'nin değerleri ile aşağıdaki gibi taşıma yapılır:

$$Q_{\text{Baraj}} = Q_1 + (Q_2 - Q_1) \times \left(\frac{DA_{\text{Baraj}} - DA_1}{DA_2 - DA_1} \right) \quad (3.3)$$

Burada;

Q_{Baraj} : Baraj yeri doğal akım değeri

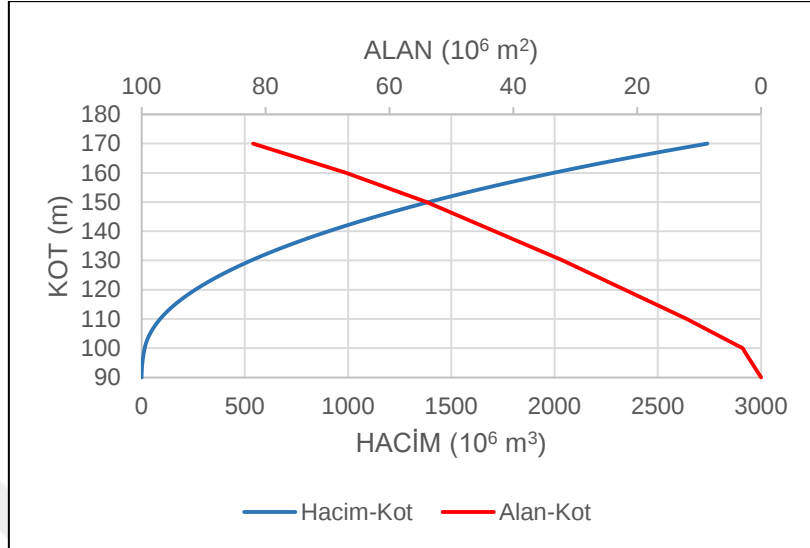
$Q_{AGİ}$	: AGİ’de ölçülen akım değeri
DA_{Baraj}	: Baraj drenaj alanı
$DA_{AGİ}$	: AGİ drenaj alanı
P_{Baraj}	: Baraj yeri ortalama yağış değeri
$P_{AGİ}$	: AGİ ortalama yağış değeri
Q_1	: Baraj aksının membasında bulunan AGİ’de ölçülen akım değeri
Q_2	: Baraj aksının mansabında bulunan AGİ’de ölçülen akım değeri

Aslantaş Barajı için su temin değerleri hesaplanırken E20A20 AGİ’de ölçülen akım değerlerinden yararlanılmıştır. Berke Barajı ve Sır Barajı’nın su temin değerleri hesaplanırken E20A001, E20A010 ve E20A020 AGİlerinde ölçülen akım değerlerinden yararlanılmıştır (DSİ,2016). Barajlara ait doğallaştırılmış akım değerleri aylık hm^3 olarak hesaplanmıştır. Simülasyon çalışmasında günlük zaman aralıkları kullanılmıştır. Hesaplanan aylık akım değerleri, her bir ay içinde sabit günlük değer olarak m^3/s ’ye dönüştürülerek giriş akımı olarak kullanılmıştır. Aylık giriş akımları Ek 1.’de sunulmuştur.

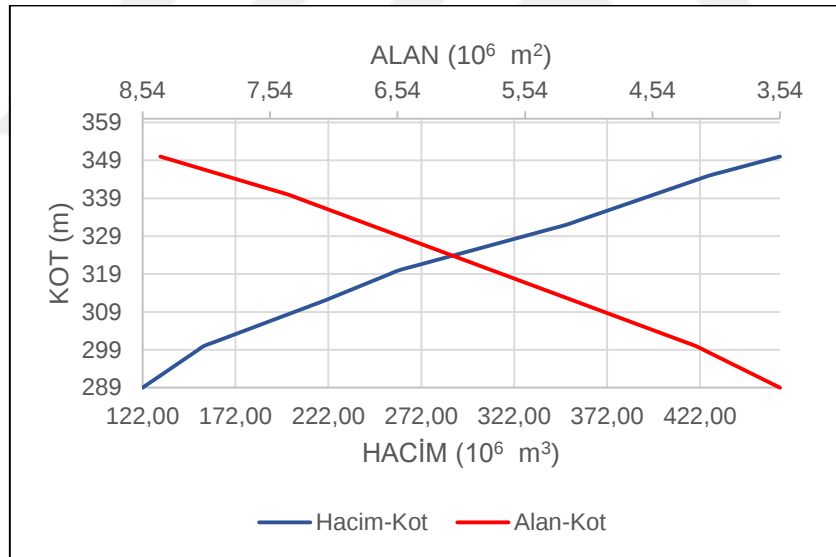
3.3.3. Kot-Alan-Hacim Eğrisi

Barajın bulunduğu arazinin topoğrafyasına bağlı olarak baraj haznesinde su seviyesi değişiklik göstermektedir. Su seviyesindeki değişim baraj göl alanında ve hacminde belli bir değere karşılık gelmektedir. Kot-alan-hacim eğrisi su seviyesi, baraj göl alanı ve hacmi arasındaki bu ilişkiyi ifade eden eğridir. Barajın işletilmesi esnasında giriş akımı ve çıkış akımı arasındaki su dengesine bağlı olarak depolama kapasitesinin belirlenmesi için kot-alan-hacim eğrisine ihtiyaç duyulur.

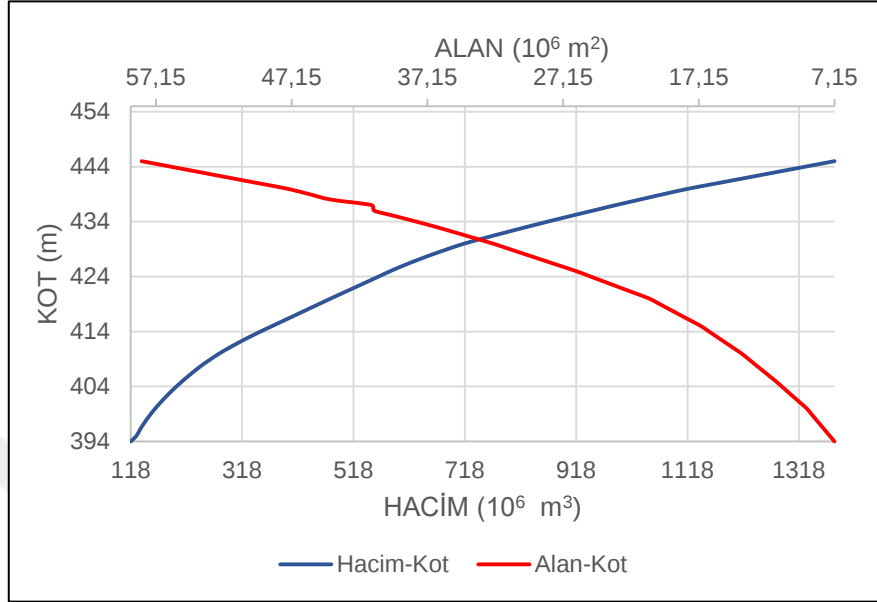
Kot-alan-hacim değerlerine bağlı olarak Aslantaş Barajı kot-alan-hacim eğrisi Şekil 3.8’de, Berke Barajı kot-alan-hacim eğrisi Şekil 3.9’da, Sır Barajı kot-alan-hacim eğrisi Şekil 3.10’da bulunmaktadır.



Şekil 3.8. Aslantaş Barajı kot-alan-hacim eğrisi



Şekil 3.9. Berke Barajı kot-alan-hacim eğrisi



Şekil 3.10. Sır Barajı kot-alan-hacim eğrisi

3.3.4. Buharlaşma Değeri

Bir baraj gölünde buharlaşma ve sızmadan kaynaklı kayıplar meydana gelir. Bu çalışmada sızmadan kaynaklanan kayıpların olmadığı, sadece buharlaşma kayıplarının olduğu kabul edilmiştir. Simülasyonda kullanılan buharlaşma verileri DSİ'den alınmış ve aşağıda çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 3.1. Aslantaş Barajı Göl Yüzeyinden Net Buharlaşma Kayıpları (mm/ay)

Aylar											
Eki	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
41,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,4	99,6	148,4	158,6	111,5

Çizelge 3.2. Berke Barajı Göl Yüzeyinden Net Buharlaşma Kayıpları (mm/ay)

Aylar											
Eki	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
37,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,2	90,8	144,7	140,7	110,4

Çizelge 3.3. Sır Barajı Göl Yüzeyinden Net Buharlaşma Kayıpları (mm/ay)

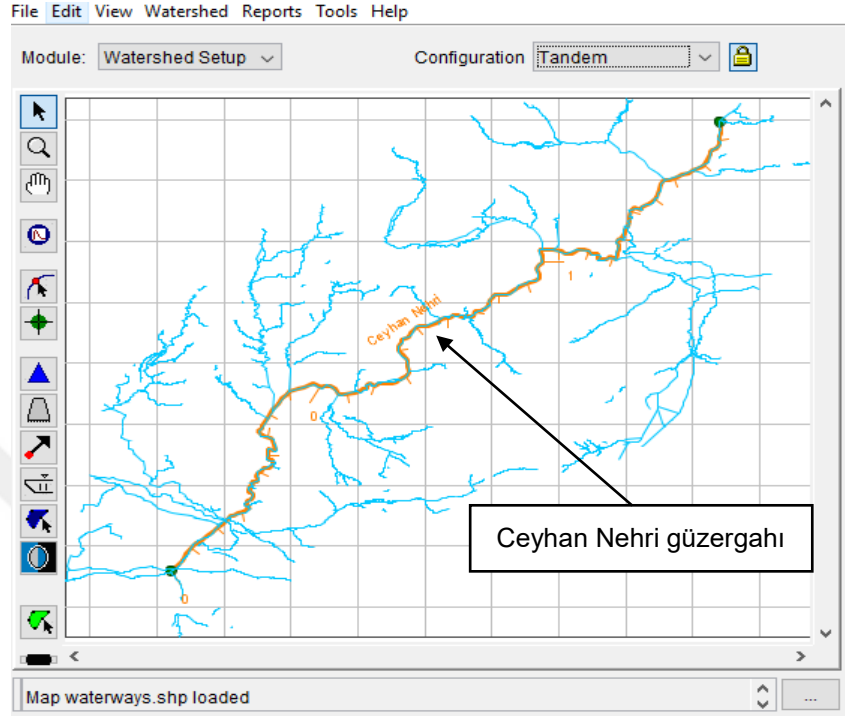
Aylar											
Eki	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
49,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65,4	175,5	220,8	223,3	172,6

4. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Bu çalışmada, öncelikle her bir baraj amaçları doğrultusunda tek başına işletilmiştir. Birbirlerinden bağımsız olarak işletme çalışması yapılan Aslantaş Barajı, Berke Barajı ve Sır Barajı için en uygun çalışma kuralları belirlenmiş, devamında ardışık üç barajın birlikte işletme çalışması gerçekleştirilmiştir. Birbirlerinden bağımsız olarak işletilmeleri durumunda belirlenen kurallar doğrultusunda, ardışık simülasyon çalışması yapılarak en uygun işletme kurallarına karar verilmiştir.

4.1. Havzanın Oluşturulması

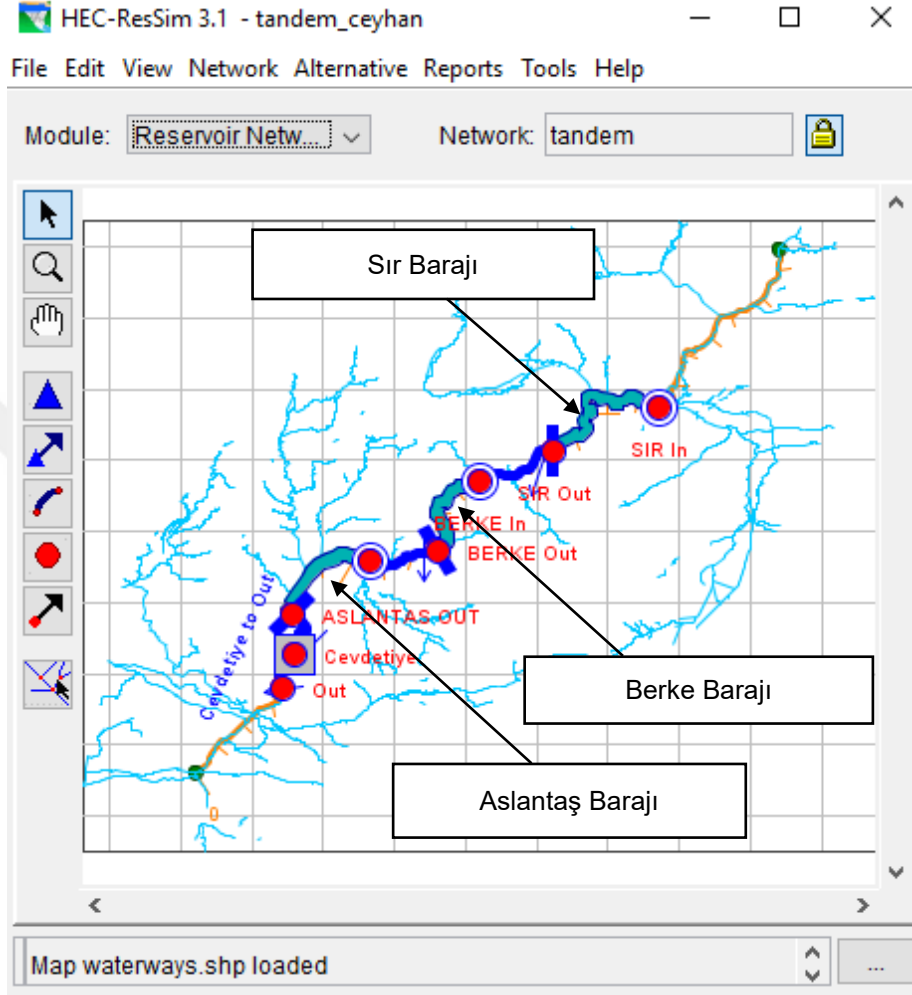
Simülasyon çalışmasının yapılacağı bölgeye ait fiziksel yapı Şekil 4.1’de görüldüğü gibi havza kurulum modülünde modellenmiştir. Ceyhan Nehri’nin güzergâhı, çalışma alanının konfigürasyonu ve birim sistemi modele tanımlanmıştır.



Şekil 4.1. Ceyhan Havzasının oluşturulması

4.2. Rezervuar Ağ Modülünün Oluşturulması

Simülasyon çalışmasında en önemli aşama baraj gölüne ait verilerin ve barajın fiziksel özelliklerinin modele aktarılmasıdır. Fiziksel bileşen ve işletme kurallarının tanımlanması bu bölümün temelini oluşturmaktadır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi barajlar güzergah üzerine tanımlanmıştır.

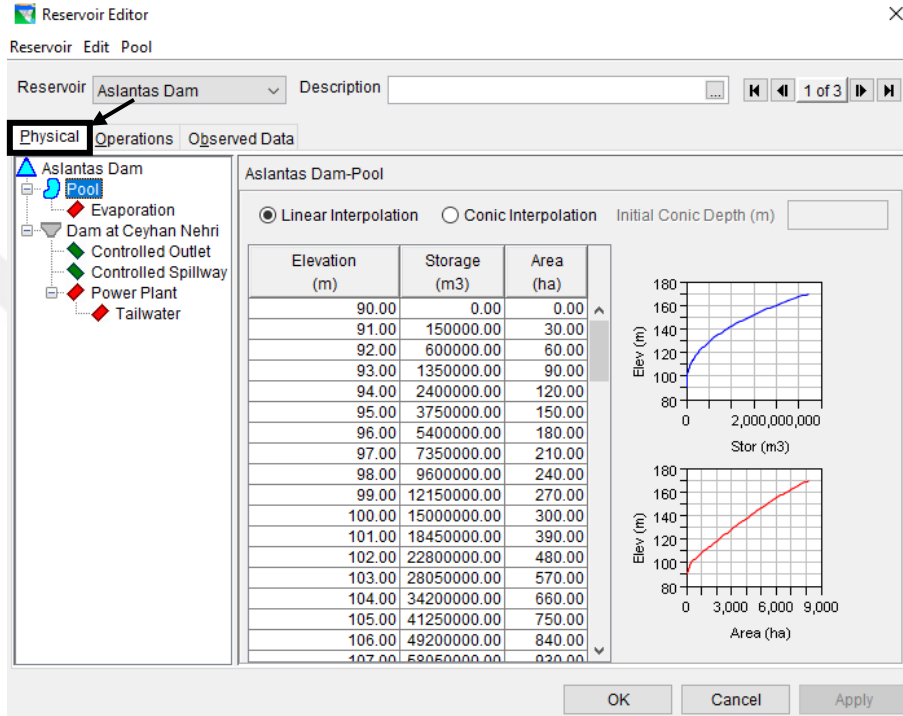


Şekil 4.2. Barajların Ceyhan Nehri güzergahına tanımlanması

4.2.1. Fiziksel Bileşen (Physical Sekmesi)

Baraj gölüne dair kot-alan-hacim eğrisi, buharlaşma verileri ve barajın çıkış yapıları modele tanımlanır. Bölüm 3.3.'te yer verilen barajlara ait fiziksel veriler Şekil 4.3.'te görüldüğü gibi modele aktarılmıştır. Bu çalışmada su kaybı olarak sadece buharlaşma verileri girilmiştir, sızma kayıpları ihmal edilmiştir. Fiziksel yapıların kapasiteleri sonuçları doğrudan etkilediğinden maksimum

kapasitelerin doğru tanımlanmasına dikkat edilmiştir. Su alma yapıları, dolusavaklar (kontrollü veya kontrolsüz), hidroelektrik santral verileri modele tanımlanmıştır.

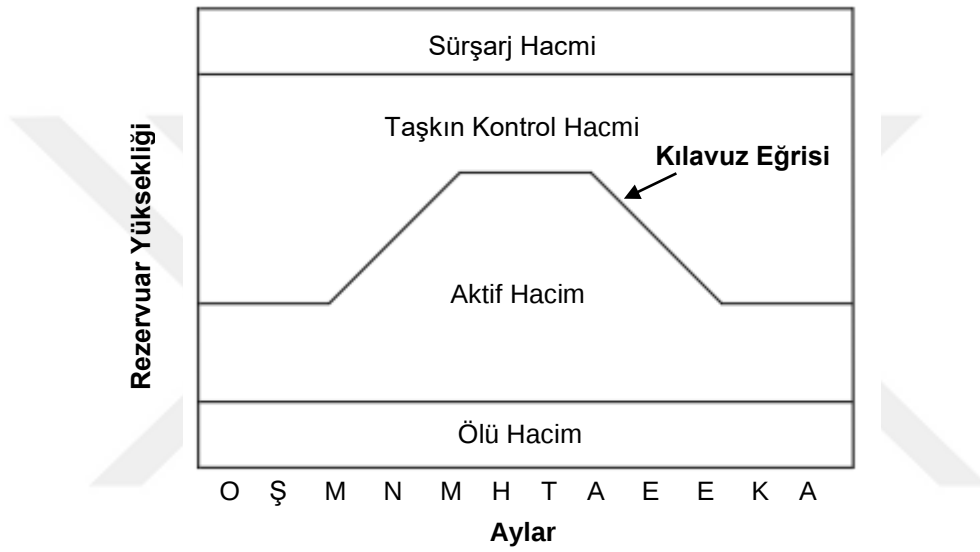


Şekil 4.3. Fiziksel verilerin modele aktarılması

4.2.2. İşletme Kurallarının Tanımlanması (Operations Sekmesi)

HEC-ResSim'de karar verme mantığı suyun depolanmasında ve salıverilmesinde hedef yükseklik olarak belirlenen 'kılavuz eğrisine' dayanmaktadır (Şekil 4.4). Rezervuarda su yüksekliği kılavuz eğrisinin altındaysa, depolama alanını doldurmak maksadıyla salıverilen su azaltılır; su yüksekliği kılavuz eğrisinin üzerinde ise depolama alanını korumak maksadıyla salıverilen su artırılır. Ancak bu salıverme işlemi barajın işletme amaçlarına uygun olarak gerçekleştirilmelidir. Bu nedenle işletme kuralları belirlenmektedir. Barajlarda

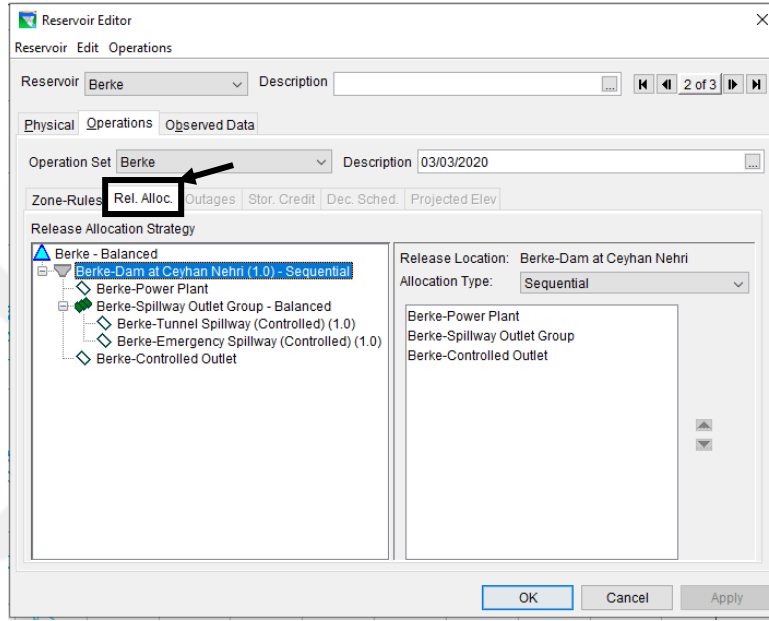
depolanan su, dönemsel olarak farklı depolama zonlarında bulunduğundan her depolama zonuna ilgili kurallar uygulanmalıdır. HEC-ResSim’ de depolama zonları, en tepe noktasını ifade eden eğriler ile tanımlanır. Bu çalışmada, barajlar taşkın kontrol hacmi, aktif hacim ve ölü hacim olmak üzere üç zona ayrılmıştır. Aktif hacim, simülasyon çalışmalarında kılavuz eğrisi olarak tercih edilmiştir.



Şekil 4.4. İşletme kuralları için kılavuz eğrisi (Wurbs, 2005)

Aslantaş Barajı sulama, enerji ve taşkın amaçlı, Berke Barajı ile Sır Barajı enerji amaçlı işletilmektedir. Tez çalışmasında, bu amaçlar doğrultusunda işletme kurallarına karar verilmiştir. Her durumda doğal hayatın (çevresel akışın) devamlılığını sağlamak için belirlenen kural üç baraj için de en öncelikli kural olarak tanımlanmıştır. Doğal hayat suyu 10 yıllık doğal akımların ortalamasının %10'u alınarak belirlenmiştir. Eğer barajdan sulama suyu, kullanma suyu temin ediliyorsa ikinci öncelik bu duruma verilmiştir. Devamında sırasıyla hidroelektrik enerji üretimi, dolusavak deşarjı ve barajdan salıverilecek maksimum su miktarı ile ilgili kurallar tanımlanmıştır. Belirli şartlara bağlı olarak gerçekleşen kuralların

tanımlanabilmesi için programın 'IF_Blok' özelliğinden faydalanılmıştır. Barajlar birden fazla çıkış yapısına sahip oldukları için suyun çıkış yapılarına salıverilmesi Şekil 4.5'te görüldüğü gibi sıralandırılmıştır. Çalışmada yer verilen üç baraj için suyun çıkış yapılarında salıverilmesi önceliği hidroelektrik santrale sağlanmıştır.



Şekil 4.5. Berke Barajı için suyun çıkış yapılarında salıverilmesi önceliğinin tanımlanması

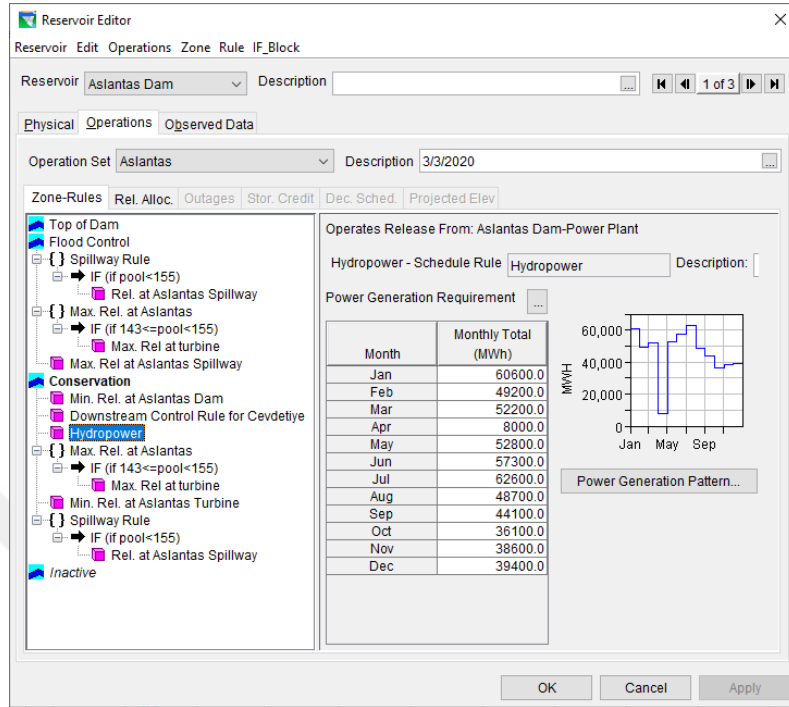
4.2.2.1 Aslantaş Barajı için İşletme Kurallarının Belirlenmesi

Aslantaş Barajı için kılavuz eğrisi Mayıs-Ekim ayları arası 153 m, Kasım-Nisan ayları arası 143 m alınmış, işletme çalışması yapılmıştır. Ölü hacim kotu için 130 m, taşkın kontrol hacmi kotu 155 m tanımlanmıştır. Uygulanan kurallar öncelik sırasına göre aşağıda ifade edilmiştir.

- Bölüm 4.2.2.'de belirtildiği gibi doğal hayat için bırakılan su kuralı öncelikli kural olarak belirlenmiştir.

- 2018 yılında üretilen hidroelektrik enerji esas alınarak hidroelektrik enerji üretimi aylık MWh olarak talep edilmiştir.
- Baraj gölünden türbinlere salıverilecek maksimum su $270 \text{ m}^3/\text{s}$ ile sınırlandırılmıştır.
- Baraj gölünden türbinlere salıverilecek minimum su $65 \text{ m}^3/\text{s}$ ile sınırlandırılmıştır.
- Cevdetiye regülatörüne su temin etmek amacıyla akış aşağısı aylık su gereksinimi tanımlanmıştır.
- Baraj gölünde depolanan su, taşkın kontrol hacmi bölgesinde bulunmuyorsa dolusavaktan Haziran-Ekim ayları arası su salımının olmayacağı, Kasım-Mayıs ayları arası giriş akımına bağlı olarak dolusavak salımının olabileceği kuralı tanımlanmıştır. Depolanan su, taşkın kontrol hacminde bulunuyorsa salıverilecek su miktarı, olası taşkın ihtimali düşünülerek dolusavağın maksimum deşarj kapasitesi olan $13800 \text{ m}^3/\text{s}$ ile sınırlandırılmıştır.

Yukarıda öncelik sırasına göre ifade edilen kurallar ilgili zonlara uygulanmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Aslantas Barajı için işletme kurallarının tanımlanması

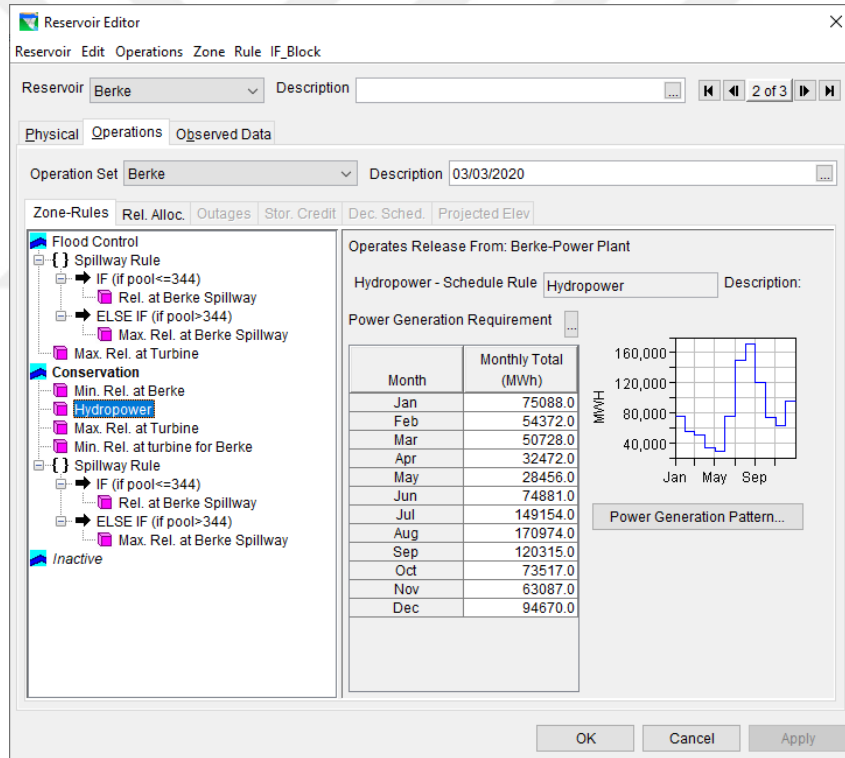
4.2.2.2. Berke Barajı için İşletme Kurallarının Belirlenmesi

Berke Barajı için kılavuz eğrisi kotu on iki ay boyunca sabit 344 m olarak belirlenmiştir. Ölü hacim kotu 290 m, taşkın kontrol hacmi kotu 345 m tanımlanmıştır. Uygulanan kurallar öncelik sırasına göre aşağıda ifade edilmiştir.

- Bölüm 4.2.2.'de belirtildiği gibi doğal hayata bırakılan su kuralı öncelikli kural olarak belirlenmiştir.
- 2018 yılı hidroelektrik enerji üretimi esas alınarak hidroelektrik enerji üretimi aylık MWh olarak talep edilmiştir.
- Türbinlere salıverilecek maksimum su $301,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ile sınırlandırılmıştır.
- Baraj gölünden türbinlere salıverilecek minimum su $65 \text{ m}^3/\text{s}$ ile sınırlandırılmıştır.

- Baraj gölünde depolanan su, 344 m kotundan daha düşük bir kotta bulunuyorsa giriş akımına bağlı olarak sadece Nisan-Mayıs aylarında dolusavaktan su salımının olabileceği kuralı tanımlanmıştır. Eğer taşkın kontrol hacminde bulunuyorsa on iki ay boyunca dolusavaktan su salıverilmesine izin verilmiştir. Ayrıca dolusavaktan salıverilebilecek su miktarı $7510 \text{ m}^3/\text{s}$ ile sınırlandırılmıştır.

Yukarıda öncelik sırasına göre ifade edilen kurallar ilgili zonlara uygulanmıştır (Şekil 4.7.).



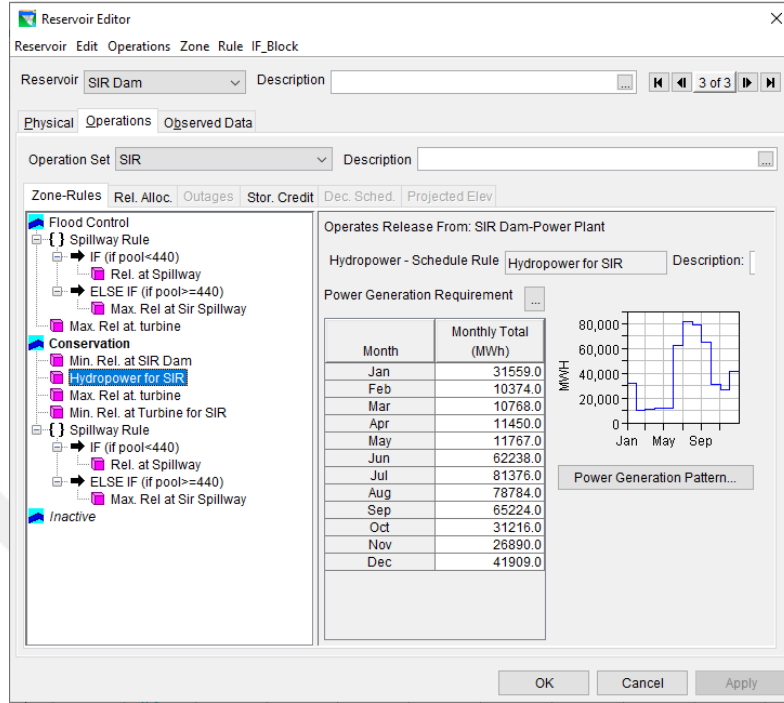
Şekil 4.7. Berke Barajı için işletme kurallarının tanımlanması

4.2.2.3. Sır Barajı için İşletme Kurallarının Belirlenmesi

Sır Barajı için işletme kılavuz eğrisi 438 m belirlenmiş ve on iki ay boyunca sabit tutulup, işletme çalışması yapılmıştır. Taşkın kontrol hacmi kotu 440 m, ölü hacim kotu 471,5 m modele aktarılmıştır. Öncelik sırasına göre kurallar aşağıda açıklanmıştır.

- Bölüm 4.2.2.'de belirtildiği gibi doğal hayata bırakılan su kuralı öncelikli kural olarak belirlenmiştir.
- Talep edilen enerji üretimi kuralı, aylık olarak 2018 yılı hidroelektrik enerji üretimleri esas alınarak MWh cinsinden tanımlanmıştır.
- Türbinlere salıverilecek maksimum su $342,75 \text{ m}^3/\text{s}$ olacak şekilde modele aktarılmıştır.
- Baraj gölünden türbinlere salıverilecek minimum su $65 \text{ m}^3/\text{s}$ ile sınırlandırılmıştır.
- Baraj gölünde depolanan su taşkın kontrol hacminde bulunmuyorsa sadece Ocak-Mayıs ayları arasında giriş akımına bağlı olarak dolusavaktan su salımına izin verileceği belirtilmiştir. Eğer taşkın kontrol hacminde bulunuyorsa on iki ay boyunca dolusavaktan suyun salıverilebileceği ve dolusavaktan salıverilebilecek maksimum suyun $7646 \text{ m}^3/\text{s}$ olacağı tanımlanmıştır.

Sır Barajı için belirlenen kurallar yukarıdaki öncelik sırasıyla ilgili zonlara tanımlanmıştır (Şekil 4.8)



Şekil 4.8. Sır Barajı için işletme kurallarının tanımlanması



5. BULGULAR ve TARTIŞMA

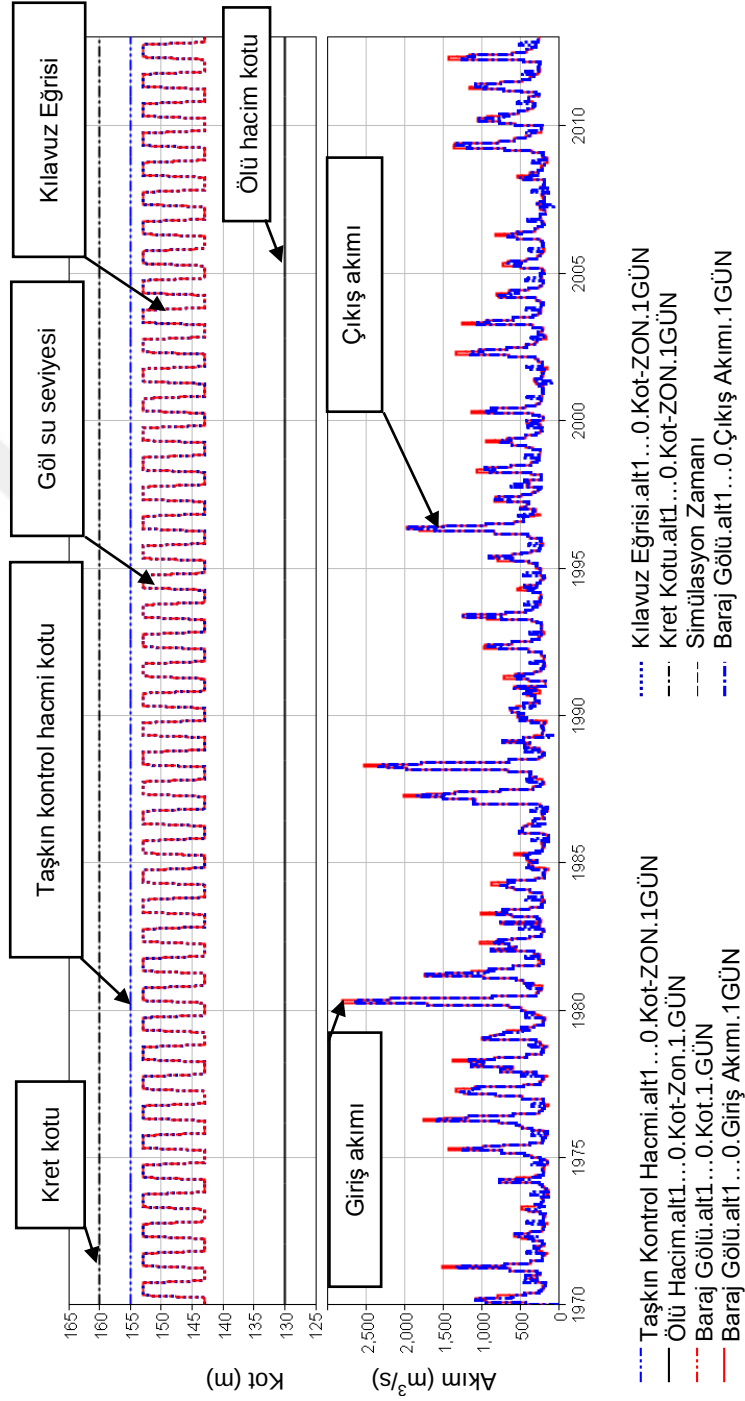
5.1. Genel

Simülasyon, belirli koşullar altında su kaynaklarının nasıl yönetileceğine yönelik karar vermede başvurulacak yöntemlerden biridir. Genelleştirilmiş simülasyon programları, her türlü su havzasına uygulamada kolaylık sağlaması açısından tercih edilmektedir. Bu çalışmada da genelleştirilmiş simülasyon modeli Hec-ResSim tercih edilmiştir. Ceyhan Havzası'nda ardışık inşa edilmiş Aslantaş Barajı, Berke Barajı, Sır Barajı'nda üretilen enerjiyi maksimum seviyede tutmak maksadıyla işletme kuralları belirlenmiştir. Bu kurallar belirlenirken varsa barajların diğer işletme amaçları da dikkate alınmıştır. Üretilebilecek yıllık toplam enerjiyi maksimum seviyeye ulaştırana kadar simülasyon yapılmıştır ve işletme kurallarına karar verilmiştir. Simülasyon yapılırken hedeflenen Kılavuz Eğrisi'ni ya da hedeflenen eğriye en yakın Kılavuz Eğrisi'ni elde etmeye dikkat edilmiştir. İşletme çalışması yapılırken hedef yüksekliklerin belirlenmesinde Bölüm 3.3.3.'de verilen kot-alan-hacim değerleri kullanılmıştır. 1970-2012 yılları arasındaki hidrolojik veriler kullanılarak simülasyon yapılmıştır. Bu bölümde, belirlenen kurallar doğrultusunda gerçekleştirilen simülasyonun sonucunda üretilen toplam yıllık enerji miktarları dikkate alınarak sistemin davranışı incelenmiştir.

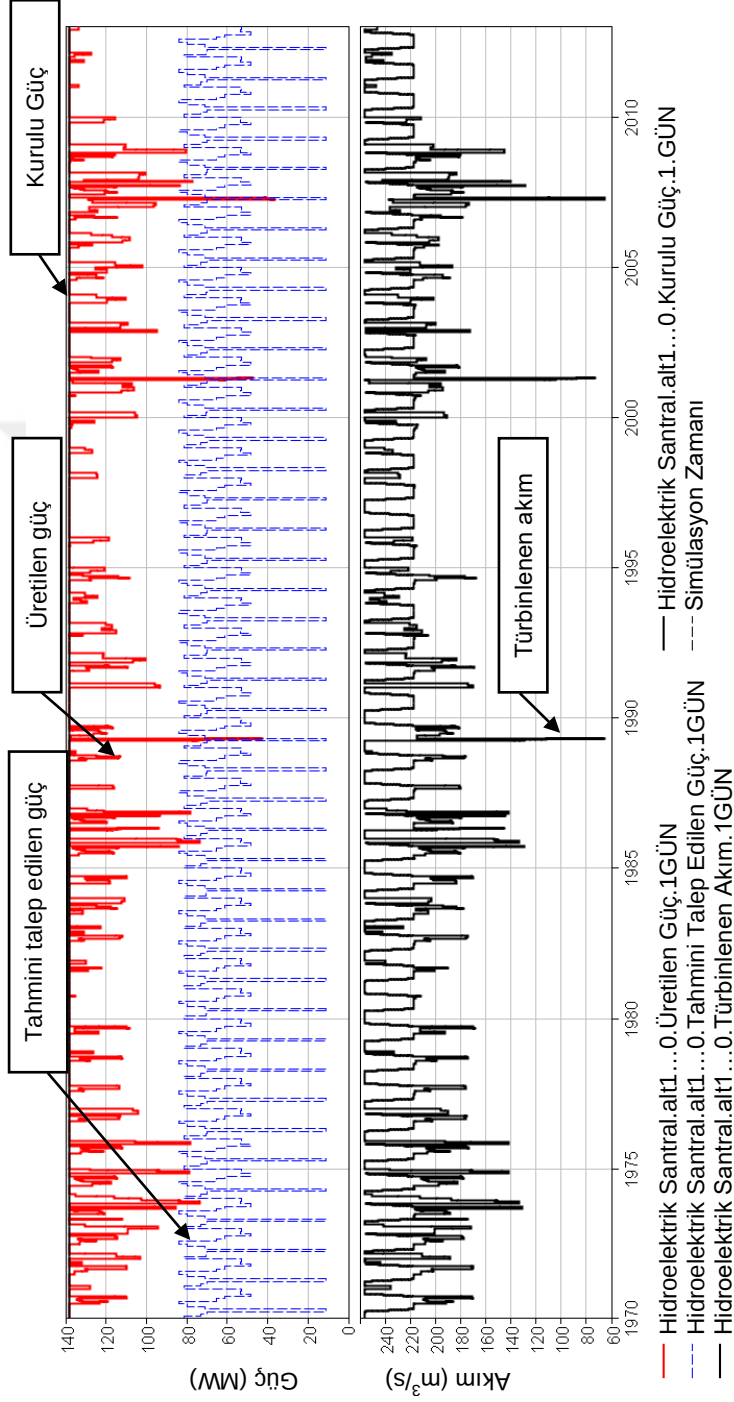
5.2. Aslantaş Barajı için Simülasyon Sonuçları

Aslantaş Barajı'nda enerji üretimini maksimum seviyede tutmak maksadıyla Kılavuz Eğrisi Mayıs-Ekim ayları arası 153 m, Kasım-Nisan ayları arası 143 m belirlenmiş ve simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Aslantaş Barajı için Şekil 5.1.'de görülen Kılavuz Eğrisi'ne ulaşılmıştır. Barajda depolanan suyun, tünel ve cebri boru ile 83 m kotuna düşürülmesiyle enerji üretimi sağlanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda Aslantaş Barajı, yıllık toplam 1150,44 GWh (1150444 MWh) enerji üretmiştir. Ceyhan Master Planı sonuçlarına göre Aslantaş Barajı yıllık toplam 674 GWh enerji üretmiştir. Bu değer dikkate

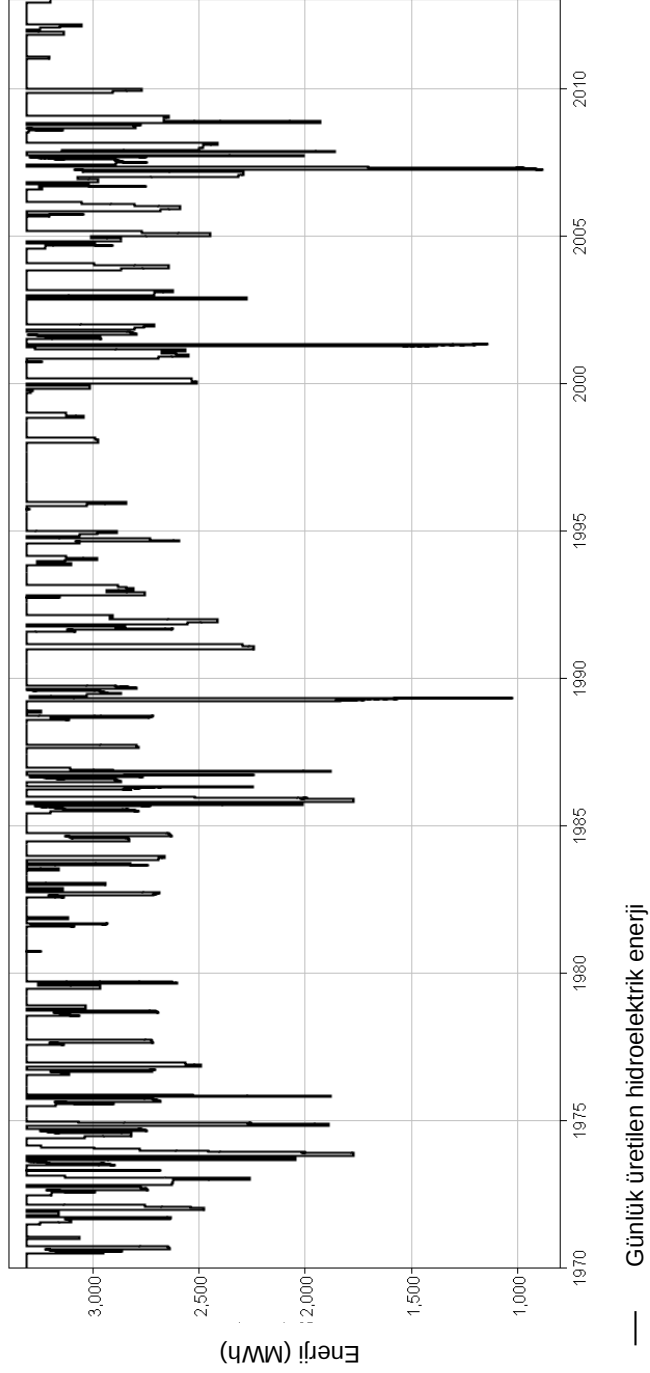
alındığında, simülasyon sonucunda Aslantaş Barajı'nda üretilen yıllık toplam enerji miktarı için maksimum seviyeye ulaşılmıştır. Aslantaş Barajı'nın simülasyon sonucunda ürettiği güç ve türbinlenen akım Şekil 5.2.'de, ürettiği günlük toplam enerji Şekil 5.3'te verilmiştir. Ayrıca, Aslantaş Barajı 43 yıllık zaman diliminde talep edilen minimum enerjiyi sağlamıştır. Nisan 2007 tarihinde üretilen enerji, çalışmada üretilen minimum enerjidir. Bu enerji, aylık toplam 20,44 GWh (20442,86 MWh) olmasına rağmen Nisan ayı için üretilmesi talep edilen enerjiden fazladır. Aslantaş Barajı, 321,21 GWh/yıl (321211 MWh/yıl) güvenilir enerji ve 829,23 GWh/yıl (82923,6 MWh/yıl) ikincil enerji üretmiştir. Aslantaş Barajı, enerji üretmenin yanı sıra taşkın kontrolü ve su temini amaçlı bir barajdır. Çalışma sonucunda Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi herhangi bir taşkın gözlemlenmemiştir. Çevresel akış için yeterli miktarda su salıverilmiş ve akış aşağısı için yetersizliğe sebep olmadan su temin edilmiştir. Çıkış yapılarından salıverilen sular Şekil 5.4'te verilmiştir.



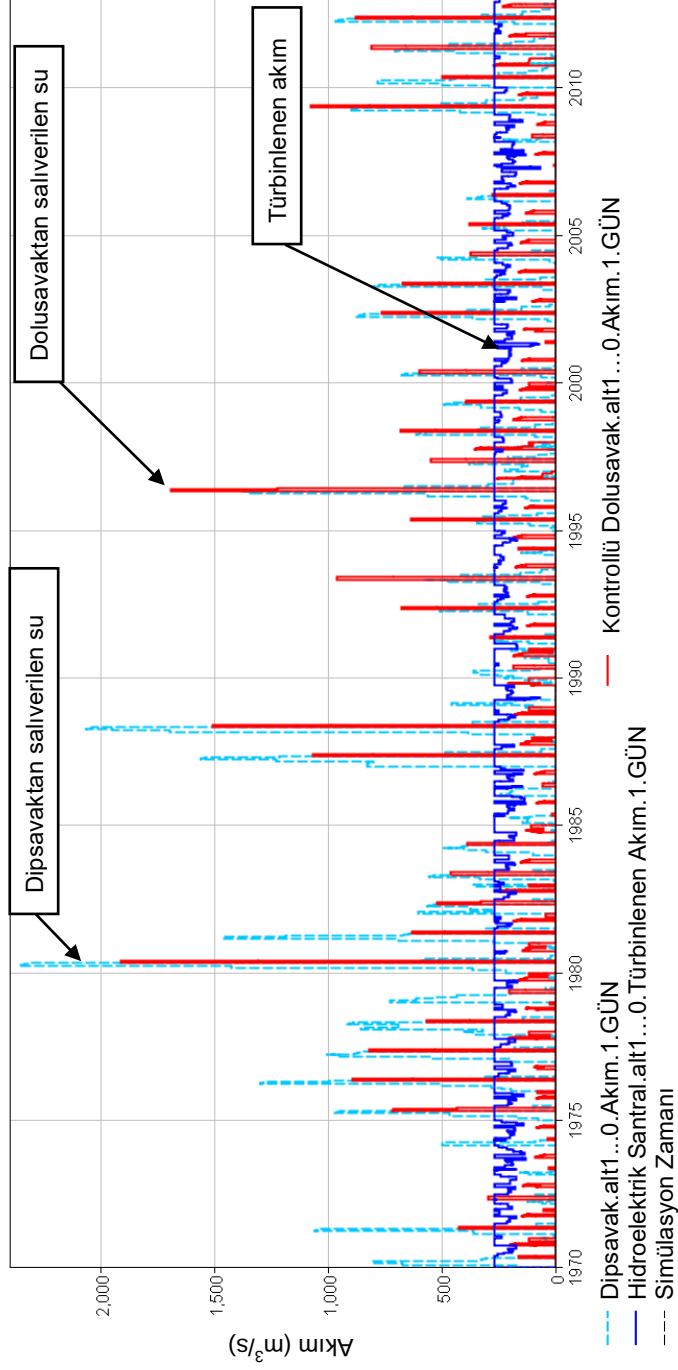
Şekil 5.1. Simülasyon sonucunda Aslantaş Barajı'nın Kılavuz Eğrisi, giriş ve çıkış akımları



Şekil 5.2. Simülasyon sonucunda Aslantaş Baraj'ın ürettiği güç ve türbinlenen akım



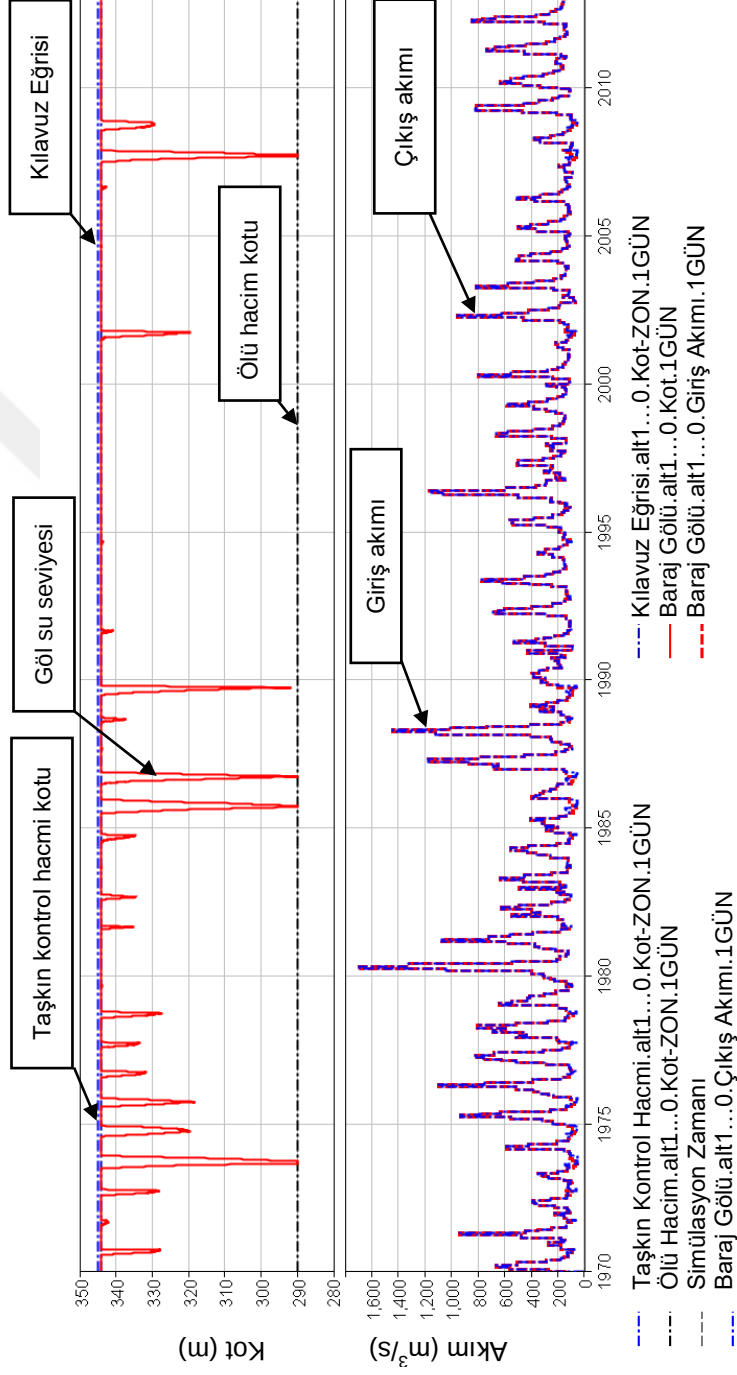
Şekil 5.3. Simülasyon sonucunda Aslantaş Barajı'nın ürettiği günlük toplam enerji



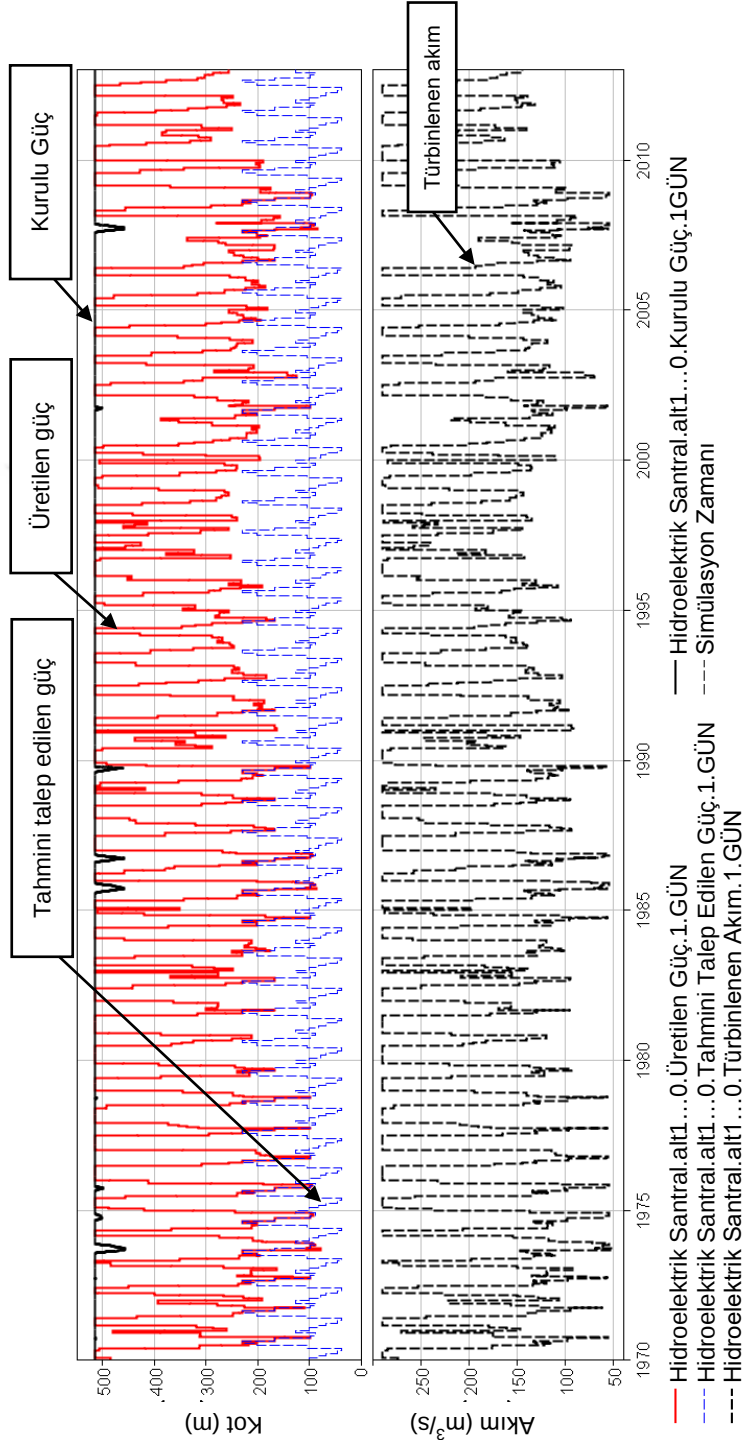
Şekil 5.4. Simülasyon sonucunda Aslantaş Barajı'nın çıkış yapılarında salınan su

5.3. Berke Barajı için Simülasyon Sonuçları

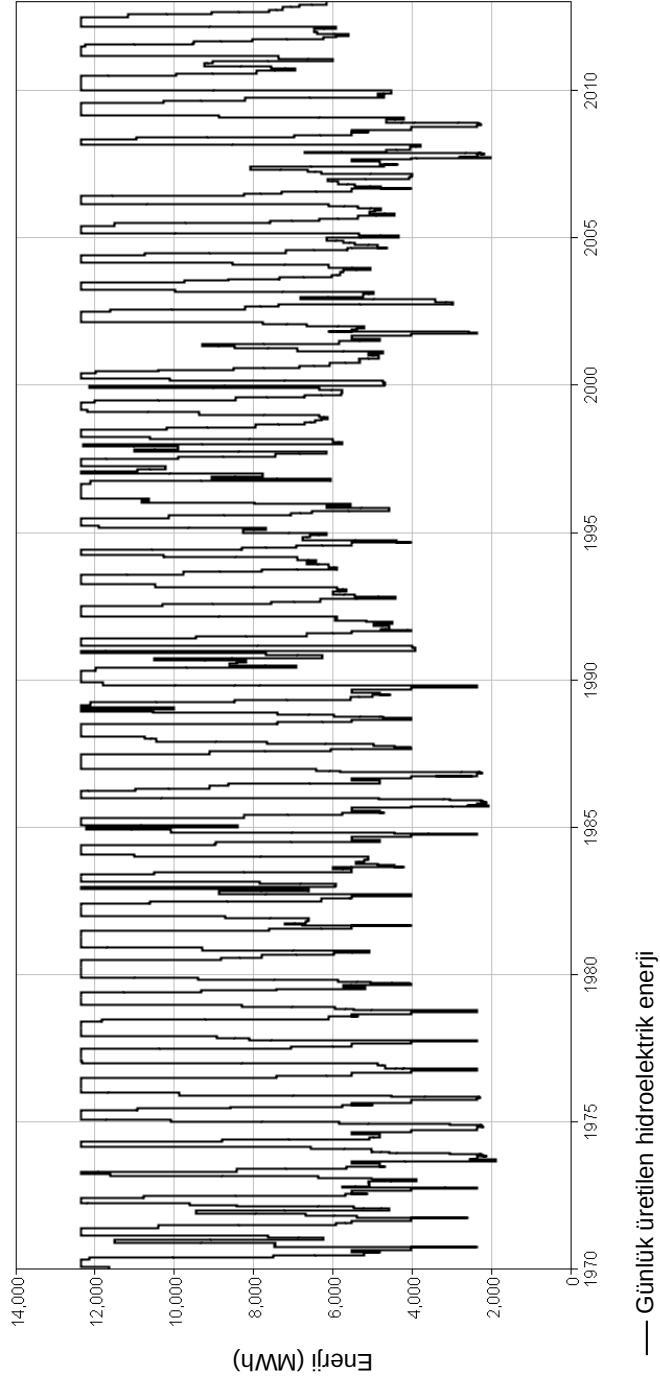
Enerji amaçlı işletilmekte olan Berke Barajı'nda enerji üretimini maksimize etmek maksadıyla Bölüm 4.2.2.2'de yer verilen işletme kuralları tanımlanmıştır. Simülasyon için hedeflenen Kılavuz Eğrisi on iki ay boyunca sabit kabul edilerek 344 m olarak belirlenmiştir. Şekil 5.5'te simülasyon çalışması sonucunda Berke Barajı için ulaşılan Kılavuz Eğrisi verilmiştir. Cebri boru vasıtasıyla suyun 155,2 m kotuna düşürülmesiyle enerji üretilmiştir. Yapılan işletme çalışmasında barajın yıllık toplam 3084,07 GWh (3084071 MWh) enerji ürettiği sonucuna ulaşılmıştır. Ceyhan Master Planı sonuçlarına göre Berke Barajı yıllık toplam 1730,9 GWh enerji üretmiştir. Bu değer dikkate alındığında çalışma sonucunda, Berke Barajı'nın yılda toplam üretebileceği enerjinin maksimum düzeyde olduğu görülmektedir. Berke Barajı'nın simülasyon sonucunda ürettiği güç ve türbinlenen akım Şekil 5.6'da, ürettiği günlük toplam enerji Şekil 5.7'de verilmiştir. Berke Barajı, 688,92 GWh/yıl güvenilir enerji ve 2393,55 GWh/yıl ikincil enerji üretmiştir. Çalışmada minimum enerjinin üretildiği dönemler dikkatle incelendiğinde, bu dönemlerde minimum enerji üretiminin gerçekleşebilmesi için minimum giriş akımının yeterli olmadığı görülmektedir. Giriş akımlarının düşük olması sebebiyle 1973 yılı Ağustos-Eylül ayları, 1985 yılı Eylül ayı, 1989 yılı Eylül ayı, 2007 yılı Eylül ayı için üretilmesi talep edilen aylık toplam minimum enerjiye ulaşamamıştır. Simülasyon çalışması boyunca en düşük aylık toplam enerji üretimi Eylül 2007 tarihinde 89,18 GWh (89182 MWh) olarak gözlenmiştir. Ancak, üretilen yıllık toplam enerjide Berke Barajı için maksimum seviyeye ulaşılmıştır. Tüm periyotta devamlı olarak çevresel akışın sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Çıkış yapılarından salıverilen sular Şekil 5.8'de verilmiştir.



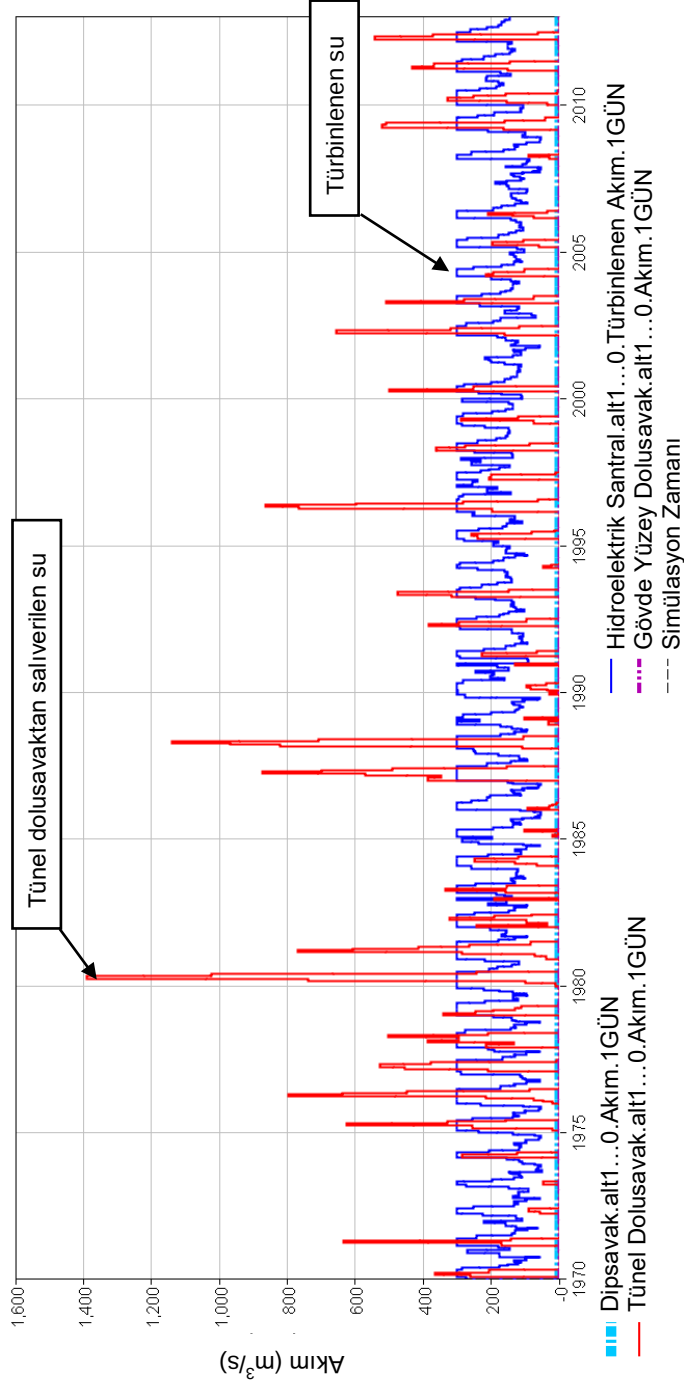
Şekil 5.5. Simülasyon sonucunda Berke Barajı'nın Kılavuz Eğrisi, giriş ve çıkış akımları



Şekil 5.6. Simülasyon sonucunda Berke Barajı'nın ürettiği güç ve türbinlenen akım



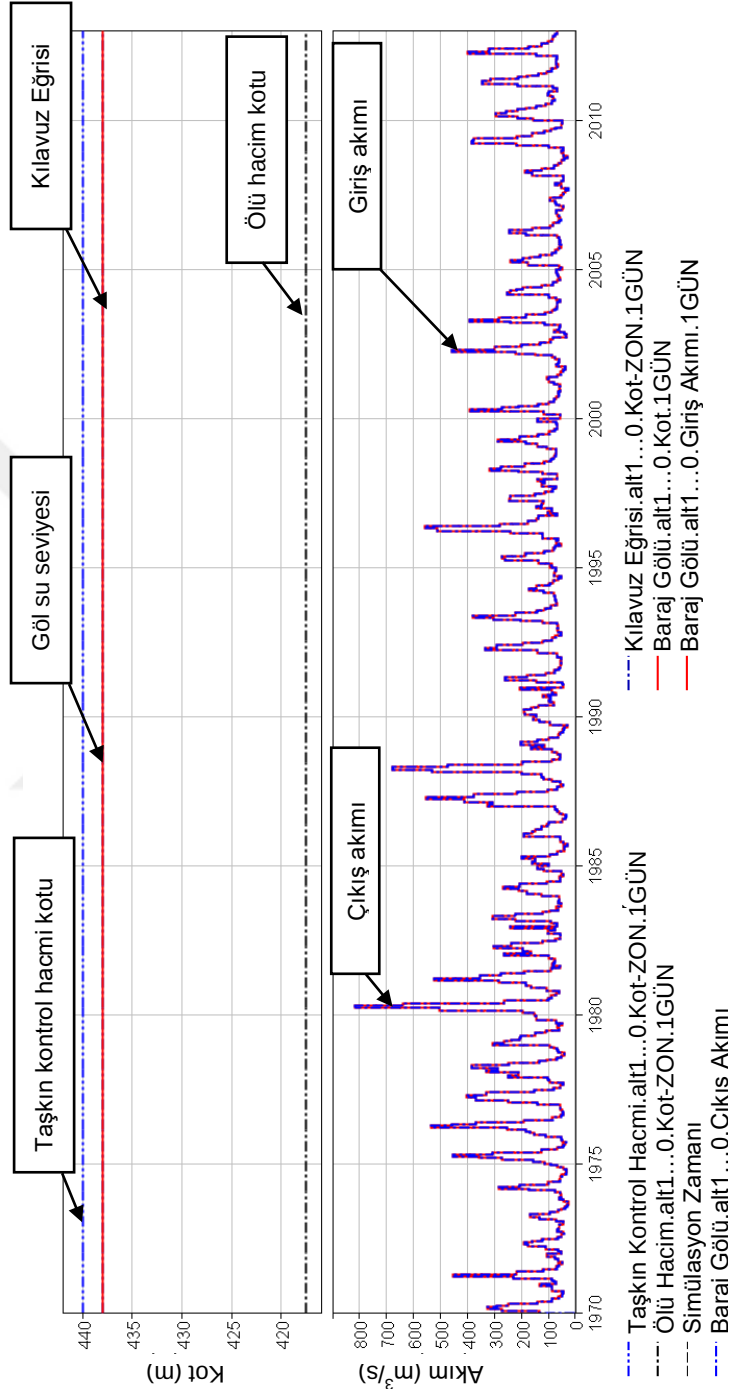
Şekil 5.7. Simülasyon sonucunda Berke Barajı'nın ürettiği günlük toplam enerji



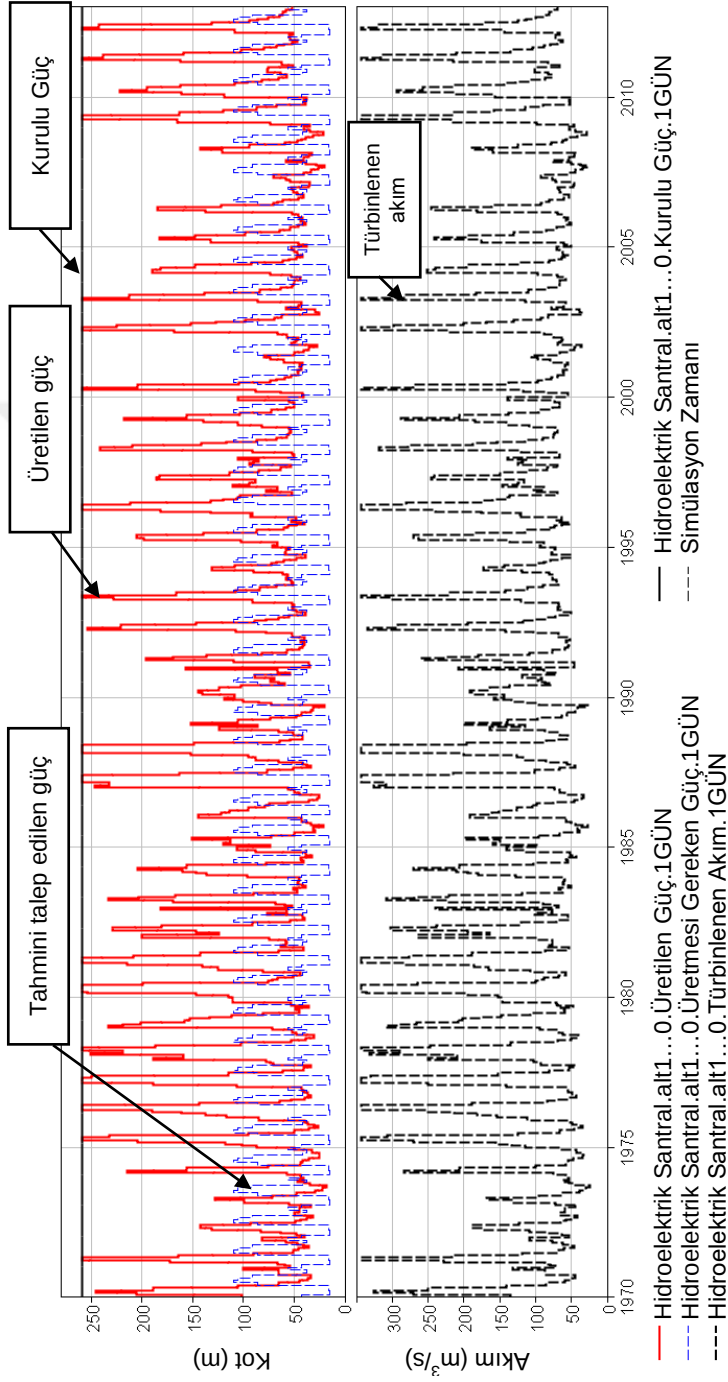
Şekil 5.8. Simülasyon sonucunda Berke Barajı'nın çıkış yapılarında salıverilen su

5.4. Sır Barajı için Simülasyon Sonuçları

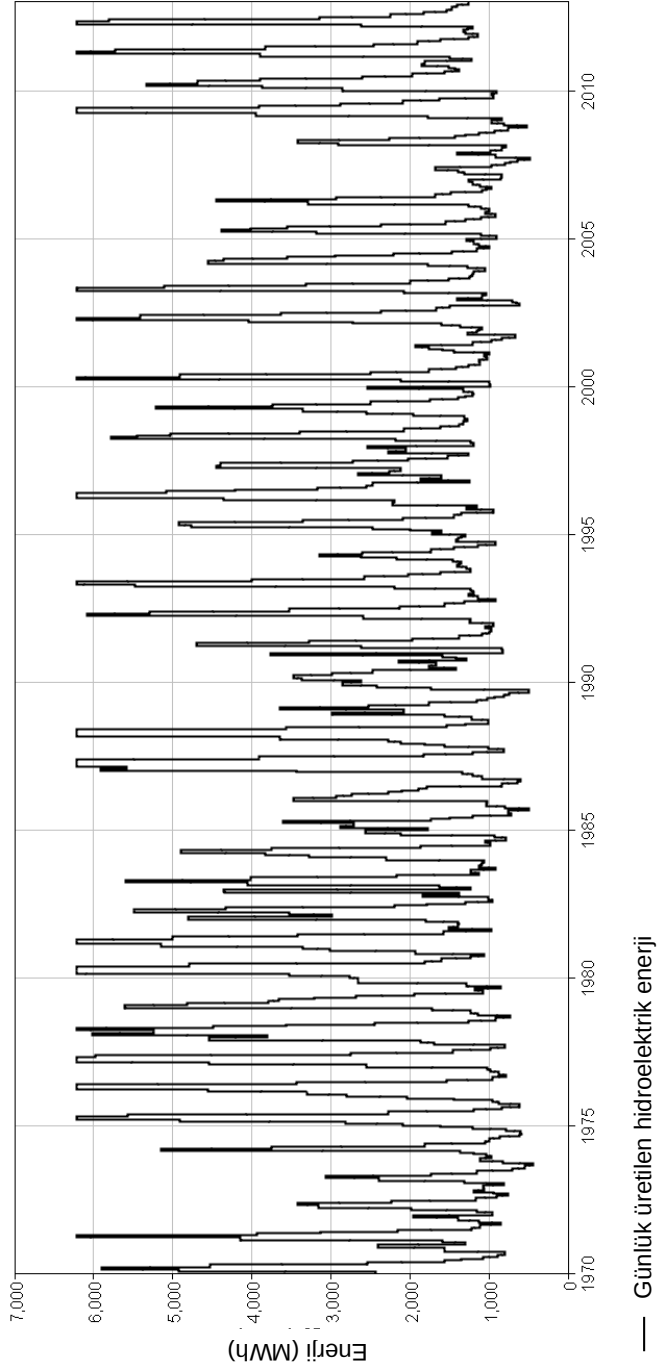
Sır Barajı enerji amaçlı işletilmektedir. Enerji üretimini maksimum seviyeye çıkarmanın amaçlandığı bu çalışmada Sır Barajı için kılavuz eğrisi yıl boyunca sabit kabul edilerek 438 m olarak belirlenmiştir. Şekil 5.9'da simülasyon sonucunda Sır Barajı için ulaşılan Kılavuz Eğrisi, giriş ve çıkış akımları verilmiştir. Yapılan işletme çalışmasında baraj yıllık toplam 842,70 GWh enerji üretmiştir. Ceyhan Master Planı sonuçlarına göre Sır Barajı yıllık toplam 812,6 GWh enerji üretmiştir. Bu değer dikkate alındığında çalışma sonucunda, Sır Barajı'nın yılda toplam üretebileceği enerjinin maksimum düzeyde olduğu görülmektedir. Berke Barajı'nın simülasyon sonucunda ürettiği güç ve türbinlenen akım Şekil 5.10'da, ürettiği günlük toplam enerji Şekil 5.11'de verilmiştir. Ayrıca, 160,89 GWh/yıl güvenilir enerji, 681,80 GWh/yıl ikincil enerji üretmiştir. 43 yıllık zaman diliminde genellikle Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında üretilmesi talep edilen minimum enerjiye ulaşamamıştır. 43 yıllık zaman aralığında ürettiği en düşük aylık toplam enerjinin Eylül 1973'te 13,39 GWh olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 43 yıllık zaman periyodunda çevresel akış için gerekli olan minimum suyun salıverildiği sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 5.12'de çıkış yapılarından salıverilen sular gösterilmiştir.



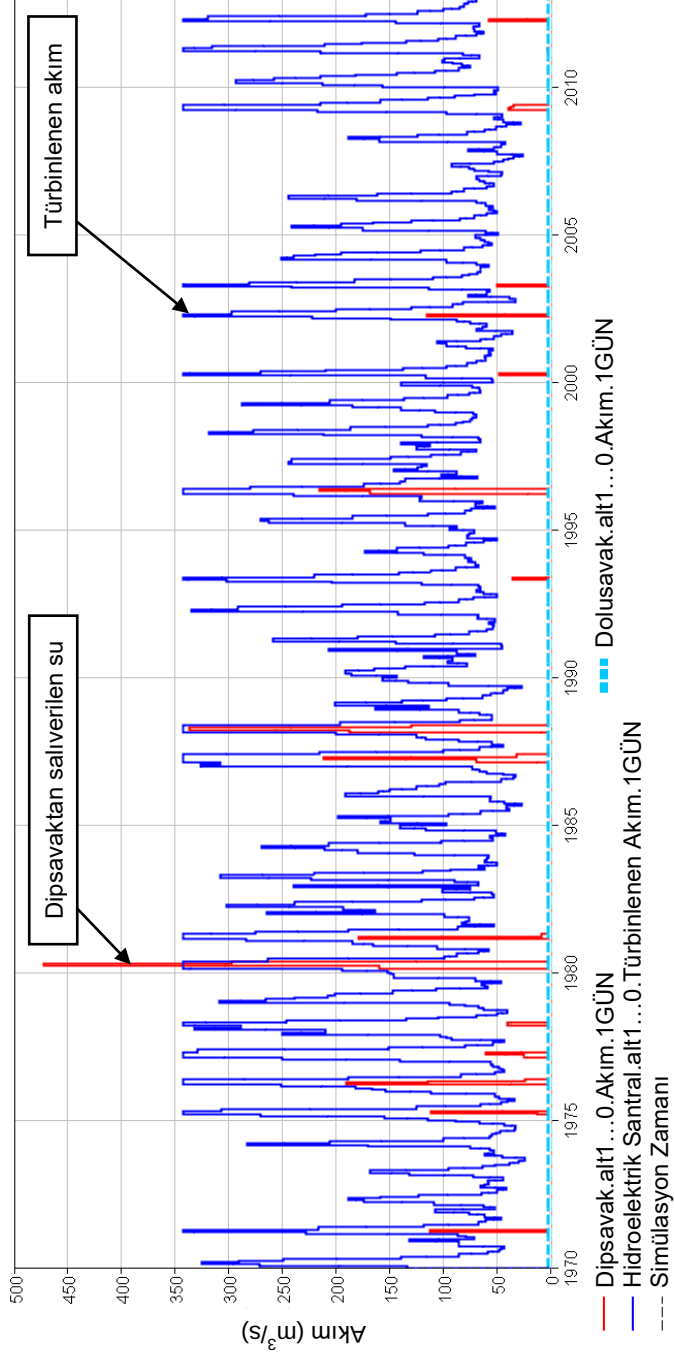
Şekil 5.9. Simülasyon sonucunda Sır Barajı'nın Kılavuz Eğrisi, giriş ve çıkış akımları



Şekil 5.10. Simülasyon sonucunda Sır Barajı'nın ürettiği güç ve türbinlenen akım



Şekil 5.11. Simülasyon sonucunda Sır Barajı'nın ürettiği günlük toplam enerji



Şekil 5.12. Simülasyon sonucunda Sır Barajı'nın çıkış yapılarında salıverilen su

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Ceyhan Havzası'nda ardışık olarak inşa edilmiş Aslantaş Barajı, Berke Barajı ve Sır Barajı çoklu rezervuar sistem yaklaşımı ile işletilerek üretilen yıllık toplam enerjiyi eniyilemek amaçlanmıştır. Bu maksatla gerçekleştirilen çalışmada, genelleştirilmiş simülasyon programı olan HEC-ResSim kullanılmıştır. Baraj işletme çalışmaları gerçekleştirilirken maksimum kapasitelerinin aşılmaması önemli olduğundan, barajların fiziksel kapasitelerinin doğru tanımlanmasına özellikle dikkat edilmiştir. Çalışmada, gerekli verilerin büyük bir kısmı Ceyhan Havzası Master Planı'ndan alınmıştır. Elde edilen sonuçlar da yine Master Plan sonuçları ile kıyaslanmıştır. Su kaybı olarak sızmanın olmadığı, sadece buharlaşma kaybının olduğu kabul edilmiştir. Akış aşağısı için çevresel akış ihtiyacının karşılanması kuralı her zaman öncelikli kural olmuştur. Çalışmanın esas gayesi, her üç barajın bütünleşik olarak ürettiği yıllık toplam enerjiyi maksimize etmek olduğu için, buna uygun hidroelektrik enerji kuralı tanımlanmış, suyun çıkış yapılarına salıverilmesinde öncelik türbinlere verilmiştir.

Ceyhan Master Planı'nın sonucunda Aslantaş Barajı yıllık toplam 674 GWh, Berke yıllık toplam 1730,9 GWh, Sır Barajı yıllık toplam 812,6 GWh enerji üretmiştir. Simülasyon sonucunda üretilen yıllık toplam enerji değerleri bu değerler ile kıyaslanmıştır.

Aslantaş Barajı'nda çalışma sonucunda üretilen yıllık toplam enerji 1150,44 GWh'tir. Ayrıca 321,21 GWh/yıl güvenilir enerji üretmiştir. Üretilen güvenilir enerji, üretmesi beklenen güvenilir enerji değeri olan 320 GWh/yıl değerinden fazladır.

Berke Barajı'nda çalışma sonucunda üretilen yıllık toplam enerji 3084,07 GWh'tir. Ayrıca 688,92 GWh/yıl güvenilir enerji üretmiştir. Bu değer üretmesi beklenen güvenilir enerji 921 GWh/yıl'dan düşüktür.

Sır Barajı'nda çalışma sonucunda üretilen yıllık toplam enerji 842,70 GWh'tir. Ayrıca 160,89 GWh/yıl güvenilir enerji üretmiştir. Bu değer üretmesi gereken güvenilir enerji 408,4 GWh/yıl'dan düşüktür.

Berke ve Sır Barajlarında üretilen güvenilir enerji düşük, Aslantaş Barajı'nda ise bir miktar yüksek çıkmıştır. Ancak çalışmanın amacı üç barajın birlikte yıllık toplam enerjisini maksimize etmek olduğu için güvenilir enerji için alt sınır tanımlanmamıştır.

Bu üç baraj bir sistem olarak değerlendirildiğinde Master Plan sonuçları ile kıyaslandığında toplamda %57,87 daha fazla enerji üretilmiştir. Üretilen toplam enerjideki bu artış çalışmada sadece üç barajın incelenmesi ve üretilen enerjiyi maksimum seviyede tutmak için işletme kurallarının belirlenmesi ile açıklanabilir. Aslantaş Barajı ve Berke Barajı'nda üretilen enerjideki artış, Sır Barajı'nda üretilen enerjideki artıştan daha fazladır. Bu durumun nedeni Aslantaş Barajı ile Berke Barajı'nın daha mansapta bulunması ve bu barajlara gelen akımın kendilerinden önceki baraj tarafından düzenlenmesi ile ilişkilendirilebilir.

Bu çalışmada, Aslantaş Barajı, Berke Barajı, Sır Barajı'nın birlikte bütünsel olarak işletilmesiyle üretilen yıllık toplam enerji maksimize edilmiştir. Ceyhan Havzası'nda mevcut olan bütün barajlar modele dahil edilip havza bazında çalışma yapılabilir. Şu anda inşaatı devam eden barajlar ve planlanan projeler modele dahil edilerek geleceğe yönelik enerji üretimi için simülasyon çalışması gerçekleştirilebilir. Tüm barajların hep birlikte işletilmesi ile yıllık üretilen enerji maksimize edilmeye çalışılırken, güvenilir enerji için alt sınır tanımlanabilir veya önce güvenilir enerji maksimize edilerek, maksimize edilmiş bu güvenilir enerjiler alt sınır kabul edilerek yıllık toplam enerji maksimize edilebilir. Ancak bu durumda üretilen yıllık toplam enerjinin daha düşük çıkması beklenebilir. Bu çalışmada 1970-2012 yılları arasındaki hidrolojik veriler kullanılmıştır. Daha güncel veriler kullanılarak havzada enerji üretimi araştırılabilir. Aylık zaman aralığı dikkate alındığında enerji üretiminin en düşük olduğu aylar için daha kısa zamanlı bir işletme çalışması gerçekleştirilerek üretilen minimum enerji incelenebilir. Aynı model, farklı bir simülasyon programı kullanılarak kıyaslanarak irdelenebilir.

KAYNAKLAR

- Ahn, J. M., Lee, S., and Kang, T., 2014. Evaluation of Dams and Weirs Operating for Water Resource Management of the Geum River. *Science of The Total Environment*, 478:103-115.
- Akbulut, U., 2003. Çok Amaçlı Baraj İşletme Çalışmaları ve Ceyhan Havzasının HEC-5 Simülasyon Programı ile Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 151s.
- Alemu, E. T., Palmer, R. N., Polebitski A., and Meaker, B., 2011. Decision Support System for Optimizing Reservoir Operations Using Ensemble Streamflow Predictions. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 137(1):72-82.
- Babel, M. S., Dinh, C. N., Mullick Md. R. A., and Nanduri, U. V., 2012. Operation of A Hydropower System Considering Environmental Flow Requirements: A Case Study in La Nga River Basin, Vietnam. *Journal of Hydro-environment Research*, 6:63-73.
- Bolouri, Y. Y., Haddal, O. B., Fallah, E. M., and Marino, M. A., 2014. Evaluation of Real-Time Operation Rules in Reservoir Systems Operation. *Water Manage Resour*, 28:715-729.
- Bosona, T. G., and Gebresenbet, G., 2010. Modeling Hydropower Plant System to Improve Its Reservoir Operation. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 2(3):88-95.
- Bower, B. T., Hufschmidt M. M., and Reedy W. W., 1962. Operating Procedures: Their Role in the Design of Water-Resource System by Simulation Analyse. *Design of Water-Resource Systems*, Harvard College, United States of America, s. 443-458.
- Choo, T. H., Huh, J. Y., Yoon, H. C., Yun, G. S., and Son, J. K., 2016. Method for New Conceptual Securing Water Resources: A Case Study of the Miryang Multipurpose Dam in Korea. *Environmental Earth Sciences*, 75:857.

- Davis, D. W., Hanbali F., 2005. Water Management in Iraq-Capability Restoration and Implications for Historic Marsh Restoration. World Water and Environmental Resources Congress, 15-19 May, Anchorage, Alaska, United States.
- Dean, B. V., and Salstrom, R. L., 1999. Computer Simulation as an Emerging Technology in Water Recourse Management. System Engineering 1(2):113-126.
- DSİ, 2016. Ceyhan Master Planı.
- DSİ, 2019. 2019 Yılı Faaliyet Raporu.
- Emergy, D. A., and Meek, B. I., 1960. The Simulation of a Complex River System, in Les Choix Exonomiques, Dunod, Paris.
- Firoz, A. B. M., Nauditt, A., Fink, M., and Ribbe, L., 2018. Quantifying Human Impacts on Hydrological Drought Using A Combined Modeling Approach in A Tropical River Basin in Central Vietnam. Hydrology and System Sciences, 22:547-565.
- Gobetti, L. E. C., 2018. Application of HEC-ResSim in the Study of New Water Sources in the Panama Canal. Journal of Applied Water Engineering and Research, 6(3):236-250.
- HEC, 2009. HEC-DSSVue HEC Data Storage System Visual Utility Engine, User's Manuel, Version 2.0. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, USA,
- HEC, 2013. HEC-ResSim Reservoir Simulation, User's Manuel, Version 3.1, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, USA.
- Johnson, L. E., 1986. Water Resource Management Decision Support Systems. Journal of Water Resources Planning and Management, 112(3):308-325.
- Klipsch, T., 2007. HEC-ResSim Enhancements: Better Tools to Simulate the Operation of California Reservoirs. Water and Environmental Modeling Forum (CWEMF) Annual Meeting, Sacramento, CA, USA.

- Leitman, S., Kiker, G. A., 2015. Development and Comparison of Integrated River/Reservoir Models in the Apalachicola-Chattahoochee-Flint Basin, USA. *Environment Systems and Decisions*, 35:410-423.
- Opan, M., 2007. Çok Barajlı Sistemlerde Çok Amaçlı Optimal İşletme. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 217s.
- Özbakır, B., 2009. Seyhan ve Ceyhan Nehir Havzalarının Hec-ResSim Programı ile Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 136s.
- Park, J. Y., and Kim, S. J., 2014. Potential Impacts of Climate Change on the Reliability of Water and Hydropower Supply from a Multipurpose Dam in South Korea. *Journal of the American Water Resources Association*, 5(5):1273-1288.
- Piman, T., Cochran, T. A., Arias, M. E., 2016. Effect of Proposed Large Dams on Water Flows and Hydropower Production in the Sekong, Sesan and Srepok Rivers of the Mekong Basin. *River Research and Applications*, 32:2095-2108.
- Rani, D., and Moreira, M. M., 2010. Simulation-Optimization Modeling: A Survey and Potential Application in Reservoir Systems Operation. *Water Resources Management*, 24:1107-1138.
- Reis, J., Culver, T. B., Lacombe, G., and Sellamuttu, S. S., 2015. Reservoir Operation for Recession Agriculture in Mekong Basin, Laos. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(7):04014083.
- Seyoum, T., and Theobald, S., 2014. Modeling of Cascade Dams and Reservoirs Operation for Hydropower Energy Generation. *Proceedings of the 11th International Conference on Hydrosience & Engineering*, Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau, s: 109-118.
- Shnaydman, W. M., 1992. The Application of the Aggregative Approach in Simulation Modeling of Water Resources Systems. *Water Resources Management* 6:135-148.

- Shrestha, S., Khatiwada, M., Babel, M. S., and Parajuli, K., 2014. Impact of Climate Change on River Flow and Hydropower Production in Kulekhani Hydropower Project of Nepal. *Environmental Processes*, 1:231-250.
- Simonovic, S. P., 1992. Reservoir Systems Analysis Closing GAP Between Theory and Practice. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 118(3):262-280.
- Sprague, R. H., and Carlson, E. D., 1982. *Building Effective Decision Support Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 329s.
- Stanzel, P., and King, H., 2014. Future Hydropower Production in the Lower Zambezi Under Possible Climate Change Influence. *Water SA*, 40(4):639-648.
- Suiadee, W., and Tingsanchali, T., 2007. A Combined Simulation-Genetic Algorithm Optimization Model for Optimal Rule Curves of A Reservoir: A Case Study of The Nam Oon Irrigation Project, Thailand. *Hydrological Processes*, 21:3211-3225.
- Teegavarapu, R. S. V., and Simonovic, S. P., 2014. Simulation of Multiple Hydropower Reservoir Operations Using System Dynamic Approach. *Water Resour Manage*, 28:1937-1958.
- Uysal, G., 2012. *Developing A Decision Support System Using HEC-ResSim for Operation of Yuvacık Dam Reservoir*. Master of Science Thesis, Anadolu University, Eskişehir, 154s.
- Wurbs, R. A., 1993. Reservoir-System Simulation and Optimization Models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119(4):455-472.
- Wurbs, R., A., 2005. *Comparative Evaluation of Generalized River/Reservoir System Models*. Technical Report No. 282, Texas Water Resources Institute the Texas A&M University System College Station, Texas, 199s.
- Wurbs, R. A., 2011. *Generalized Models of River System Development and Management*, (U. Uhlig edited). *Current Issues of Water Management*, InTech, Croatia, s.1-22.

- Yang, X., Parent, E., Michel, C., and Roche, P. A., 1995. Comparison of Real-Time Reservoir- Operation Techniques. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 121(5):345-351.
- Yanmaz, A. M, 2018. *Applied Water Resources Engineering*. METU Press Publishing Company, Ankara, 656s.
- Yeh, W. W-G., 1985. Reservoir Management and Operations Models: A State-of-the-Art Review. *Water Resources Research*, 21(12):1797-1818.
- Yu, M., Lee, D., Yi, J., and Kwon, T., 2013. Re-evaluation of Multi-Purpose Reservoir Yield. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 175:283-292.
- Ziaei, M., Shui, L. T., and Goodarzi, E., 2012. Optimization and Simulation Modelling for Operation of the Zayandeh Rud Reservoir. *Water International*, 37(3):305-318.

http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1029



ÖZGEÇMİŞ

06/03/1994 tarihinde Malatya’da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimlerini Malatya’da tamamladı. 2012 yılında İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı ve 2017 yılında bu bölümden mezun oldu. 2017 yılında İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime başladı. 2018 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne Araştırma Görevlisi olarak atandı ve Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime devam etti. Yazar, halen Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.



EKLER



EK-1 İşletme Çalışmalarında Kullanılan Su Temin Değerleri

Çizelge EK-1.1. Aslantaş Barajı su temin değeri (m³/s)

Su yılı	AYLAR											
	Eki	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
1970	98,23	96,06	159,80	157,93	377,40	410,69	285,92	160,51	100,63	66,66	61,71	48,00
1971	70,60	92,59	135,90	84,38	109,54	307,27	586,31	262,17	146,81	79,30	71,71	544,96
1972	80,04	67,52	66,83	61,60	70,64	144,12	223,18	254,31	151,22	78,70	61,80	55,44
1973	54,25	66,87	59,63	52,10	94,69	176,33	221,68	128,32	87,76	51,37	40,30	33,73
1974	39,33	51,72	85,50	71,31	89,74	384,39	261,63	128,68	69,75	62,02	60,00	43,52
1975	54,54	60,25	150,93	147,48	202,52	339,20	546,38	391,24	149,82	76,13	54,58	41,88
1976	55,11	61,47	65,71	224,01	240,90	326,09	694,58	448,14	236,42	102,30	64,49	56,79
1977	109,57	120,12	326,98	178,14	309,37	468,68	507,98	421,42	173,09	95,76	67,67	57,54
1978	75,28	84,39	122,06	286,36	447,90	376,01	566,86	334,89	167,23	82,81	61,18	50,04
1979	75,48	83,20	197,45	438,69	353,24	273,71	256,34	183,62	121,92	68,40	81,80	52,88
1980	70,77	131,81	210,53	192,42	238,74	672,09	1113,64	866,28	344,08	126,71	111,62	84,43
1981	91,52	89,37	129,47	206,26	379,56	659,66	416,83	345,64	229,74	104,00	63,05	111,05
1982	126,36	92,44	309,49	343,32	207,01	247,97	394,64	308,89	152,82	89,68	66,62	68,65
1983	75,73	72,10	100,46	82,60	110,07	287,79	402,19	284,76	151,05	78,35	85,60	62,53
1984	57,52	134,28	164,65	147,39	204,90	251,81	325,35	246,84	119,82	63,11	66,89	49,07
1985	47,33	61,11	60,22	107,61	179,19	168,62	277,76	105,69	73,36	43,91	47,22	30,07

EK-1 İşletme Çalışmalarında Kullanılan Su Temin Değerleri

Çizelge EK-1.1. (devamı) Aslantaş Barajı su temin değeri (m³/s)

Su yılı	AYLAR											
	Eki	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
1986	72,76	80,62	89,77	244,62	203,28	189,81	156,74	129,65	123,39	58,34	44,81	40,65
1987	80,71	125,62	173,19	504,12	472,61	643,56	874,98	583,94	329,91	152,40	100,64	66,24
1988	94,39	90,63	188,61	129,73	240,09	840,91	1	779,40	264,79	98,81	67,38	68,70
1989	2	185,31	231,31	145,40	332,97	165,64	120,61	79,02	71,52	61,54	61,33	40,07
1990	93,20	114,74	283,54	193,57	251,50	260,83	221,97	182,69	103,83	131,13	124,38	159,99
1991	58,45	62,95	56,66	49,05	49,81	165,84	306,46	210,15	124,61	87,41	68,38	61,73
1992	57,94	71,73	79,44	78,55	74,81	169,69	415,56	360,49	236,62	141,53	102,74	85,02
1993	77,74	79,92	87,70	73,89	76,58	140,83	368,43	468,63	266,61	169,86	132,72	104,39
1994	84,63	81,64	76,24	79,84	85,71	130,52	193,19	159,67	105,50	87,85	69,40	54,85
1995	63,93	86,18	77,70	117,49	108,60	172,25	342,44	355,26	239,22	147,31	101,75	93,27
1996	90,79	136,81	116,73	165,04	155,94	9	732,55	804,44	392,92	241,77	194,20	186,74
1997	6	146,20	183,31	192,31	161,63	151,09	329,38	326,15	199,12	148,12	110,83	90,49
1998	96,03	90,40	93,82	84,89	87,89	160,24	442,70	384,20	5	155,45	120,52	100,71
1999	77,46	84,83	167,55	127,87	167,54	225,09	357,50	253,24	166,77	116,37	92,18	78,55
2000	69,16	68,93	62,53	60,34	58,68	134,99	480,57	327,08	162,14	114,14	91,63	80,34
2001	85,78	76,58	72,19	70,45	64,98	96,76	119,82	132,21	82,25	66,84	58,30	44,92
2002	44,16	50,22	103,46	100,84	117,91	312,53	663,36	424,34	281,90	182,07	127,73	113,32

EK-1 İşletme Çalışmalarında Kullanılan Su Temin Değerleri

Çizelge EK-1.1.1. (devamı) Aslantaş Barajı su temin değeri (m³/s)

Su yılı	AYLAR											
	Ekim	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
2003	81,87	80,39	70,24	73,11	68,94	143,30	523,12	370,01	236,87	141,50	106,13	85,99
2004	77,03	80,58	86,82	86,05	34,71	329,37	313,32	253,86	156,31	103,92	81,26	69,26
2005	64,23	72,90	68,64	62,14	76,65	233,21	325,43	262,43	172,45	113,08	94,31	78,72
2006	82,27	88,28	92,28	80,32	91,64	251,81	344,07	223,71	126,79	112,48	82,93	72,79
2007	59,21	91,20	62,41	54,12	52,73	84,83	90,10	111,32	64,11	53,85	42,71	31,88
2008	35,87	56,63	67,59	58,41	52,21	214,49	254,24	165,03	103,91	82,53	68,62	54,89
2009	84,07	86,33	80,25	74,93	160,38	369,15	660,97	653,65	367,28	270,22	184,71	150,18
2010	137,19	167,94	164,15	263,01	359,84	503,40	439,53	364,59	242,00	183,51	145,79	126,95
2011	104,70	93,02	107,15	100,13	123,74	335,92	551,85	502,72	332,16	211,77	163,80	136,83
2012	117,48	109,99	98,55	103,89	91,17	211,99	613,85	486,86	258,32	184,87	149,20	124,30

EK-1 İşletme Çalışmalarında Kullanılan Su Temin Değerleri

Çizelge EK-1.2. Berke Barajı su temin değeri (m³/s)

Su yılı	AYLAR											
	Eki	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
1970	89,34	88,26	137,86	139,03	292,58	342,55	257,09	144,65	90,23	62,93	52,17	46,56
1971	64,50	80,04	113,61	74,39	91,73	244,13	481,70	226,40	125,75	71,87	65,35	49,83
1972	69,28	60,41	60,66	54,48	62,98	116,16	184,09	202,38	130,12	69,28	54,56	45,87
1973	47,86	62,78	54,47	46,36	77,03	140,85	179,51	102,29	69,71	43,10	34,09	27,72
1974	34,65	45,14	70,44	60,18	78,33	303,86	217,58	106,24	61,44	58,36	52,23	37,16
1975	50,11	53,96	199,84	121,67	164,94	284,72	473,36	324,29	131,61	69,79	50,07	37,23
1976	50,49	55,71	58,03	168,37	188,79	266,21	565,70	383,88	200,20	90,00	57,25	47,77
1977	97,02	106,53	265,89	148,40	262,13	388,35	425,16	348,63	157,48	85,43	58,76	48,26
1978	65,78	71,48	100,04	225,27	355,29	306,46	420,62	265,14	142,94	74,11	54,88	43,86
1979	66,81	73,80	156,86	335,08	283,20	221,66	212,64	155,18	111,58	62,90	70,39	49,46
1980	61,23	111,58	175,04	160,49	205,15	536,84	875,75	686,14	281,50	107,28	94,94	72,65
1981	80,21	78,94	105,20	189,45	303,18	549,55	364,86	290,16	198,39	92,13	57,60	85,93
1982	107,00	79,28	235,85	280,58	172,83	204,97	321,34	253,37	128,67	76,90	57,77	59,53
1983	65,35	62,41	60,97	71,05	94,03	236,64	327,27	234,24	127,23	67,52	73,53	54,41
1984	53,12	120,08	145,88	131,15	186,94	219,52	281,25	215,35	107,62	58,08	61,41	45,68
1985	45,29	57,93	57,05	99,53	163,05	153,18	204,73	97,83	69,02	42,50	45,19	29,80

EK-1 İşletme Çalışmalarında Kullanılan Su Temin Değerleri

Çizelge EK-1.2. (devamı) Berke Barajı su temin değeri (m³/s)

Su yılı	AYLAR											
	Eki	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
1986	62,88	69,49	76,97	202,30	169,83	158,39	131,85	109,69	104,71	50,84	39,44	35,96
1987	61,13	93,97	128,20	361,96	340,91	458,98	619,42	417,57	239,93	113,23	75,71	50,53
1988	73,11	87,19	169,16	126,39	210,24	592,91	760,42	535,26	211,71	89,47	60,19	57,90
1989	103,01	143,67	172,45	120,52	201,76	144,68	101,95	67,00	61,02	49,81	47,26	35,46
1990	76,04	93,05	222,85	154,06	199,11	205,56	176,05	145,68	84,49	105,75	100,48	128,29
1991	54,68	58,79	53,08	46,22	47,10	148,79	268,85	186,81	113,21	80,45	63,56	57,70
1992	52,76	64,84	71,44	70,67	70,02	148,19	351,46	306,10	204,32	124,45	91,46	76,35
1993	70,58	72,56	79,23	67,21	69,85	124,91	315,50	397,50	231,08	149,57	117,99	93,79
1994	80,19	77,58	72,56	75,84	81,52	121,49	177,22	147,40	99,20	83,11	66,30	53,01
1995	55,20	73,67	66,59	99,19	92,28	143,43	278,68	288,43	197,12	123,35	86,35	79,50
1996	73,70	109,64	93,95	131,29	129,02	258,67	556,19	608,41	304,20	189,93	153,66	148,11
1997	133,52	119,60	148,62	155,66	132,07	123,31	262,11	259,34	161,16	120,98	91,44	75,28
1998	78,37	74,02	76,63	69,58	72,21	128,52	343,77	299,39	202,09	124,80	97,59	82,16
1999	69,14	75,54	145,21	111,95	145,75	192,94	301,65	216,13	144,74	102,25	81,72	70,16
2000	63,38	63,26	57,53	55,60	56,22	120,48	409,32	282,24	143,87	102,54	83,03	73,28
2001	73,68	66,14	62,41	60,96	56,61	82,75	101,79	111,77	70,84	57,95	50,81	39,59
2002	36,31	41,16	82,63	80,60	94,07	240,78	499,98	323,80	218,11	142,72	101,30	90,32

EK-1 İşletme Çalışmalarında Kullanılan Su Temin Değerleri

Çizelge EK-1.2. (devamı) Berke Barajı su temin değeri (m³/s)

Su yılı	AYLAR											
	Eki	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
2003	69,97	68,83	60,37	62,74	59,52	120,00	419,25	299,71	195,07	118,55	89,84	73,45
2004	65,76	68,76	73,79	73,16	102,38	267,03	254,74	207,67	130,22	87,75	69,24	59,43
2005	53,91	60,98	57,48	52,22	64,17	187,15	258,53	209,76	139,97	93,02	78,08	65,67
2006	66,34	71,10	74,13	64,82	73,89	195,69	265,03	174,52	100,88	89,75	66,86	59,01
2007	52,78	80,06	55,52	48,41	47,41	74,58	79,13	96,87	57,05	48,18	38,57	29,16
2008	30,47	47,37	56,12	48,75	45,42	171,15	201,94	132,85	85,08	68,04	56,95	45,97
2009	58,68	60,26	56,08	52,46	110,39	248,35	438,98	433,91	247,31	183,16	126,37	103,37
2010	94,52	115,52	112,59	178,31	242,72	336,05	294,57	245,24	164,33	125,52	100,29	87,71
2011	76,96	68,68	78,70	73,70	90,78	238,97	387,73	353,78	236,57	152,57	118,86	99,90
2012	89,11	83,68	75,16	79,11	72,34	157,96	443,96	354,10	191,54	138,31	112,35	94,22

EK-1 İşletme Çalışmalarında Kullanılan Su Temin Değerleri

Çizelge EK-1.3. Sır Barajı su temin değeri (m³/s)

Su yılı	AYLAR											
	Eki	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
1970	87,10	86,30	132,33	134,27	271,20	325,37	249,82	140,65	87,61	61,99	51,63	46,02
1971	62,96	76,88	108,00	71,87	87,24	228,21	455,33	217,39	120,44	70,00	63,74	48,54
1972	66,57	58,62	59,11	52,68	61,05	109,11	174,23	189,29	124,80	66,90	52,73	43,46
1973	46,25	61,76	53,16	44,91	72,57	131,90	168,88	95,74	65,17	41,01	32,52	26,20
1974	33,47	43,48	66,64	57,37	75,46	283,57	206,48	100,58	59,35	57,44	50,27	35,56
1975	49,00	52,38	112,00	115,16	155,47	270,98	454,96	307,42	127,02	68,19	48,93	36,05
1976	49,33	54,25	56,09	154,34	175,65	251,12	533,22	367,69	191,07	86,90	55,42	45,49
1977	93,85	103,10	250,49	140,91	250,22	368,10	404,28	330,28	153,55	82,83	56,51	45,92
1978	63,39	68,22	94,48	209,87	331,94	288,92	383,76	247,56	136,81	71,92	53,29	42,30
1979	64,62	71,44	146,63	308,97	265,55	208,54	201,62	148,01	108,97	61,51	67,51	48,60
1980	58,82	106,48	166,09	152,44	187,82	502,75	815,78	640,73	265,73	102,39	90,74	69,68
1981	77,36	76,31	99,08	185,22	283,93	521,80	351,76	276,18	190,49	89,13	56,23	85,28
1982	102,12	75,96	239,82	264,76	164,22	194,13	302,86	239,38	122,58	73,68	55,53	57,23
1983	62,73	59,97	58,57	68,14	89,98	223,75	308,38	221,51	121,23	64,80	70,49	52,37
1984	52,02	116,49	141,15	127,06	174,34	211,38	270,13	207,41	104,54	56,81	60,03	44,82
1985	44,78	57,13	56,25	97,50	158,98	149,29	198,93	95,85	67,93	41,71	44,68	29,20

EK-1 İşletme Çalışmalarında Kullanılan Su Temin Değerleri

Çizelge EK-1.3. (devamı) Sır Barajı su temin değeri (m³/s)

Su yılı	AYLAR											
	Eki	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
1986	60,39	66,69	73,75	191,63	161,40	150,47	125,58	104,65	99,99	48,95	38,09	34,78
1987	56,19	85,99	116,86	326,13	307,71	412,46	555,00	375,64	217,25	103,36	69,43	46,57
1988	67,74	86,23	164,25	125,55	193,64	530,40	679,76	473,72	198,33	87,12	58,38	57,27
1989	96,48	113,17	157,61	114,24	201,10	139,39	97,25	63,97	58,37	46,85	43,72	29,12
1990	71,72	87,59	207,55	144,10	185,90	191,62	164,48	136,35	79,62	99,35	94,46	120,30
1991	53,73	57,74	52,17	45,51	46,42	144,49	259,36	180,93	110,34	78,69	62,34	56,68
1992	51,45	63,11	69,42	68,68	65,79	142,77	335,30	292,39	196,18	120,14	88,62	74,16
1993	68,77	70,71	77,10	65,53	68,15	120,89	302,16	379,32	222,12	144,46	114,27	91,12
1994	79,07	76,56	71,63	74,83	80,46	119,21	173,19	144,31	97,61	81,92	65,52	52,54
1995	52,99	70,52	63,79	94,57	88,17	136,17	262,61	271,58	186,51	117,31	82,47	76,03
1996	69,39	102,79	88,21	122,79	116,66	240,01	511,74	559,00	281,84	176,87	143,45	138,37
1997	125,83	112,89	139,87	146,42	124,62	116,31	245,15	242,50	151,59	114,14	86,55	71,45
1998	73,92	69,89	72,30	65,72	68,26	120,52	318,84	278,02	188,59	117,08	91,81	77,48
1999	67,04	73,20	139,57	107,94	140,26	184,83	287,57	206,77	139,18	98,69	79,09	68,05
2000	61,92	61,83	56,28	54,41	53,17	116,83	391,36	270,94	139,26	99,62	80,86	71,50
2001	70,63	63,51	59,94	58,57	54,51	79,21	97,24	106,62	67,97	55,71	48,92	38,24
2002	34,33	38,87	77,38	75,50	88,07	222,69	458,73	298,46	202,04	132,80	94,63	84,53

EK-1 İşletme Çalışmalarında Kullanılan Su Temin Değerleri

Çizelge EK-1.3. (devamı) Sır Barajı su temin değeri (m³/s)

Su yılı	AYLAR											
	Eki	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
2003	66,97	65,92	57,88	60,13	57,14	114,12	393,07	281,99	184,54	112,76	85,74	70,28
2004	65,92	65,78	70,51	69,91	94,20	251,32	239,97	196,02	123,64	83,68	66,21	56,95
2005	51,31	57,98	54,66	49,72	61,02	175,53	241,67	196,48	131,78	87,97	73,99	62,38
2006	62,33	66,77	69,55	60,92	69,41	181,55	245,11	162,12	94,35	84,02	62,81	55,53
2007	51,16	77,25	53,78	46,98	46,06	72,00	76,37	93,22	55,27	46,75	37,52	28,48
2008	29,11	45,04	53,23	46,32	41,75	160,23	188,76	124,74	80,34	64,39	54,00	43,73
2009	52,28	53,70	49,99	46,80	97,80	217,90	383,03	378,52	217,07	161,27	111,67	91,57
2010	83,76	101,92	99,59	156,96	213,19	293,87	258,04	215,16	145,00	110,90	88,82	77,82
2011	69,97	62,54	71,53	67,03	82,47	214,53	346,36	316,23	212,48	137,65	107,54	90,59
2012	81,96	77,05	69,27	72,86	64,47	144,33	401,13	320,63	174,70	126,58	103,06	86,64