



**BARAJLARIN BUHARLAşMA VE SEDİMENT ETKİSİ ALTINDA
İşLETME PERFORMANSLARININ DEğERLENDİRİLMESİ**

Murat PINARLIK

**DOKTORA TEZİ
İNşAAT MÜHENDİSLİğİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2020

Murat PINARLIK tarafından hazırlanan “BARAJLARIN BUHARLAŞMA VE SEDİMENT ETKİSİ ALTINDA İŞLETME PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Zeliha SELEK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Yakup DARAMA

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Atılım Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Hatice ÖZMEN ÇAĞATAY

Hidrolik Ana Bilim Dalı, Çukurova Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

Hidrolik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 03/07/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Murat PINARLIK

03/07/2020

BARAJLARIN BUHARLAŞMA VE SEDİMENT ETKİSİ ALTINDA İŞLETME PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

(Doktora Tezi)

Murat PINARLIK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2020

ÖZET

Dünya genelinde oluşan su talebindeki artış ve iklim değişikliği ile birlikte su kaynaklarında meydana gelen azalmalar, barajların önemini daha da arttırmıştır. Baraj rezervuarları, doğal su kaynaklarının depolanması, düzenlenmesi ve kontrol edilmesi için oluşturulmuş su kütleleridir. Rezervuar kapasitelerinin büyüklüğünün belirlenmesinde rezervuara gelen su miktarı ve su talebi önemli bir rol oynar. Bununla birlikte, buharlaşma ve sedimantasyonun rezervuar işletme performansına etkisi oldukça fazladır. Buharlaşmanın ve sedimantasyonun rezervuarın işletme performansı üzerindeki olumsuz etkisinin incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Baraj planlamalarında genellikle sedimantasyonun ölü hacimde birikeceği varsayılmaktadır. Halbuki gerçekte, baraj aktif hacimleri de sedimantasyondan önemli oranda etkilenmektedir. Bu durum, işletme ömrü boyunca barajlardan beklenen faydanın elde edilememesine neden olabilmektedir. Ayrıca, buharlaşma da barajların işletme performansını önemli derecede etkilemektedir. Bu çalışmada, buharlaşma ve sedimantasyonun rezervuarların işletme performansı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Çalışma alanı olarak Yeşilırmak Havzasında yer alan yedi adet baraj ele alınmıştır. Bu barajlar; taşkın kontrolü, hidroelektrik enerjisi, sulama, içme ve endüstriyel su kaynağı gibi çeşitli amaçlara hizmet etmektedir. Bu ihtiyaçları karşılamak için rezervuarların sahip olması gereken minimum su kapasitesi tahminleri Sıralı Tepeler Algoritması (STA) kullanılarak yapılmıştır. İşletme performansları davranış analizi yardımıyla; zamana ve hacme bağlı güvenilirlik, iyileşebilirlik, maksimum eksiklik miktarı ve sürdürülebilirlik kriterleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Ayrıca, her bir rezervuar için WEAP (Water Evaluation And Planning System) modeli oluşturulmuştur. Modeller, davranış analizi sonuçları ve ölçülmüş rezervuar hacimleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan; hem buharlaşmanın hem de sedimantasyonun planlama aşamasında göz ardı edilmesinin rezervuarın gelecekteki işletme performansı üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olduğu ve bu havza özelinde buharlaşma etkisinin çok daha önemli olduğu görülmüştür. Analiz sonuçlarına etki eden etmenler tespit edilmiş ve planlama sürecine hem buharlaşma hem de sedimantasyon eklenmiştir. Böylece, bu iki etkenin rezervuar işletme performansına olan etkilerinin azalması ön görülmüştür.

Bilim Kodu : 91122

Anahtar Kelimeler : Rezervuar İşletme Performansı, Buharlaşma, Sedimantasyon, Yeşilırmak Havzası, Sıralı Tepeler Yöntemi, Davranış Analizi, WEAP Modeli

Sayfa Adedi : 115

Danışman : Prof. Dr. Zeliha SELEK

EVALUATION OF OPERATION PERFORMANCE OF DAMS UNDER THE EVAPORATION AND SEDIMENT IMPACTS

(Ph. D. Thesis)

Murat PINARLIK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2020

ABSTRACT

The increase in water demand worldwide and the decrease in water resources with the climate change have further increased the importance of dams. Dam reservoirs are bodies of water created for the storage, regulation and control of natural water resources. The amount of inflow to the reservoir and the demand play an important role in determining the size of the reservoir capacities. However, the effect of evaporation and sedimentation on reservoir operating performance is very high. It is of great importance to investigate the negative impact of evaporation and sedimentation on the operating performance of the reservoir. In dam planning, it is generally assumed that sedimentation will accumulate in dead volume. Whereas, dam active volumes are also significantly affected by sedimentation in reality. This situation may cause to not get the expected benefit from dams throughout the life of the operation. Besides, evaporation significantly affects the operational performance of dams. In this study, the effect of evaporation and sedimentation on the operating performance of the reservoirs was analyzed. Seven dams in Yeşilirmak Basin have been considered as study areas. These dams serve various purposes such as flood control, hydroelectric power, irrigation, drinking and industrial water supply. To meet these demands, the required minimum water capacity of reservoirs was estimated using the Sequent Peak Algorithm (SPA). The operation performances were characterized by time and volumetric reliability, resilience, vulnerability and sustainability criteria using behaviour analysis. Moreover, WEAP (Water Evaluation And Planning System) model was created for each reservoir. Models were compared with behaviour analysis results and measured reservoir volumes. From the results obtained; it was observed that ignoring both evaporation and sedimentation at the planning stage had a negative effect on the future operational performance of the reservoir and the evaporation effect was much more important in this basin. Impacts affecting the analysis results were determined and both evaporation and sedimentation were added to the planning process. Thus, it is predicted that the effects of these two factors on reservoir operation performance will decrease.

Science Code : 91122

Key Words : Reservoir Operation Performance, Evaporation, Sedimentation, Yeşilirmak Basin, Sequent Peak Algorithm (SPA), Behaviour Analysis, WEAP

Page Number : 115

Supervisor : Prof. Dr. Zeliha SELEK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında beni destekleyen, yol gösteren, karşılaşmış olduğum sıkıntılarda her daim yanımda olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zeliha SELEK'e, bu uzun ve zorlu süreçte fikirlerini ve yardımlarını esirgemeyen tez izleme komitesi üyelerim Sayın Doç. Dr. Yakup DARAMA ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT'e teşekkür ederim.

Yurtdışında bulunduğum süre zarfında bana akademik anlamda çok şey katan, bilgisiyle, tecrübesiyle ve duruşuyla bana örnek olan Prof. Dr. Adebayo J. Adeloye'e sonsuz teşekkür ederim. Heriot Watt Üniversitesi'nde beraber çalışma fırsatı bulduğum Dr. Dau Quan'a da yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

TÜBİTAK 2214-A Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Bursu kapsamında tez dönemimin dokuz aylık bölümünde yurtdışı araştırma imkanı sağladığı için TÜBİTAK'a teşekkür ederim. Ayrıca tezimde kullanmış olduğum verilerin elde edilmesinde yardımcı olan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Teze başladığım günden bugüne, her zaman bana destek olan başta Dr. Onur ÇAVUŞOĞLU olmak üzere Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DAYI, Dr. Kenan TOKLU ve tüm Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü mesai arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aşamasında arkamda duran, kayıtsız şartsız beni destekleyen ve beni bugünlere getiren annem Nazan PINARLIK'a ve babam Zafer PINARLIK'a şükranlarımı sunarım. Lisans eğitimimden bu güne hep yanımda olan ve beni asla yalnız bırakmayan değerli eşim Duygu METİN PINARLIK'a da sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	5
2.1. Baraj İşletme Politikaları ile İlgili Çalışmalar.....	5
2.2. Baraj İşletme Performanslarına Buharlaşmanın Etkisi ile İlgili Çalışmalar	12
2.3. Baraj Rezervuarlarındaki Sediment Birikimi Tespiti ve Sedimentin Baraj İşletme Performanslarına Etkisi ile İlgili Çalışmalar	16
2.4. WEAP Modeli ile İlgili Çalışmalar	20
3. TEMEL KURAMLAR	25
3.1. Barajlar	25
3.2. Rezervuar Hacmi Bölgeleri	26
3.2.1. Kot-alan-hacim eğrileri	27
3.3. Rezervuar Karakteristikleri	28
3.3.1. Rezervuarların sınıflandırılması	30
3.4. Rezervuar İşletme Performansı Analizi	31
3.5. Rezervuar İşletme Politikaları ve Kural Eğrileri	36
3.5.1. Kural eğrileri.....	36
3.5.2. İşletme prosedürü (kuralı) veya politikası.....	37

	Sayfa
3.5.3. Standart işletme politikası (SİP)	37
3.6. Depolama Verimliliği Performans Analizi Yöntemleri	38
3.6.1. Kritik dönem yöntemleri	40
3.5.2. Moran ve olasılık matrisi yöntemleri	40
3.7. Rezervuar Sistemi Simülasyon Modelleri.....	41
3.8. Rezervuar Sistemlerinin Optimizasyonu.....	42
4. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER.....	43
4.1. Çalışma Alanı	43
4.2. Veriler	47
5. METODOLOJİ.....	57
5.1. Sıralı Tepeler Algoritması (STA)	57
5.2. Davranış Analizi ve Performans Değerlendirmesi	58
5.3. WEAP (Water Evaluation And Planning System) Modeli	60
5.3.1. Şematik görünüm	60
5.3.2. Veri.....	61
5.3.3. Sonuçlar	62
5.3.4. Senaryo araştırmaları	63
5.3.5. Notlar	64
5.3.6. WEAP modelinin oluşturulması	64
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	67
6.1. Rezervuar Aktif Kapasitelerinin Doğrulanması	67
6.2. Rezervuarlar İşletme Performanslarının Değerlendirmesi	72
6.3. WEAP Modeli Rezervuar Kapasitesi Kalibrasyonu	91
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	101
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	113

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Barajların konumları ve diğer özellikleri.....	44
Çizelge 4.2. Barajların karakteristik özellikleri	44
Çizelge 4.3. 1987 ve 2011 yılları arasında Çorum alt havzasının toprak kullanımındaki değişim.....	47
Çizelge 4.4. Rezervuarlar için akım verilerinin özeti	48
Çizelge 4.5. Yenihayat ve Alaca barajlarının yıllık hacimsel buharlaşma verileri.....	51
Çizelge 4.6. Almus, Çakmak ve Hasan Uğurlu barajlarının yıllık hacimsel buharlaşma verileri	51
Çizelge 4.7. Yedikır barajının yıllık hacimsel buharlaşma verileri	52
Çizelge 4.8. Çorum barajının yıllık hacimsel buharlaşma verileri	52
Çizelge 4.9. Aylık ortalama buharlaşma verileri	53
Çizelge 4.10. Alaca, Almus ve Çakmak barajlarının aylık ortalama net buharlaşma verileri.....	54
Çizelge 4.11. Çorum, Yenihayat ve Yedikır barajlarının aylık ortalama net buharlaşma verileri	54
Çizelge 4.12. Aylık ortalama akım ve aylık ortalama sediment yükü	55
Çizelge 6.1. Rezervuarların STA ile hesaplanan aktif kapasiteleri	67
Çizelge 6.2. Yıllık sediment değerleri.....	72
Çizelge 6.3. Davranış analizi simülasyonu sonuçları	88
Çizelge 6.4. Su temini R^2 sonuçları	92
Çizelge 6.5. Rezervuar kapasiteleri R^2 sonuçları.....	92

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Rezervuar hacmi bölgeleri	26
Şekil 3.2. Almus rezervuarı kot-alan-hacim eğrisi	27
Şekil 3.3. Yıllık akış değişkenliğinin etkisini vurgulayan bir rezervuar depolama verimliliği fonksiyonunun şematik gösterimi	30
Şekil 3.4. Tekil rezervuar sisteminin şematik gösterimi	31
Şekil 3.5. (a) Seri, (b) Paralel, (c) Hem seri hem de paralel rezervuar sistemlerinin şematik gösterimi	31
Şekil 3.6. Rezervuar işletmesi için kural eğrilerinin şematik gösterimi	37
Şekil 3.7. Standart işletme politikasının (SİP) şematik gösterimi	38
Şekil 3.8. Kapasite verimlilik işlemlerinin teorik olarak sınıflandırılması	39
Şekil 4.1. Yeşilirmak havzası ve barajların konumları	43
Şekil 4.2. Almus barajı uydu görüntüleri	45
Şekil 4.3. Alaca barajı uydu görüntüleri	45
Şekil 4.4. Çakmak barajı uydu görüntüleri.....	45
Şekil 4.5. Hasan Uğurlu barajı uydu görüntüleri	46
Şekil 4.6. Çorum barajı uydu görüntüleri.....	46
Şekil 4.7. Yedikır barajı uydu görüntüleri.....	46
Şekil 4.8. Yenihayat barajı uydu görüntüleri.....	47
Şekil 4.9. Yeşilirmak nehri, Almus rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi.....	48
Şekil 4.10. Yeşilirmak nehri, H.Uğurlu rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi.....	48
Şekil 4.11. Çekerek nehri, Yenihayat rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi.....	49
Şekil 4.12. Suludere nehri, Alaca rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi.....	49
Şekil 4.13. Çomar nehri, Çorum rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi.....	49

Şekil	Sayfa
Şekil 4.14. Tersakan nehri, Yedikır rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi.....	50
Şekil 4.15. Abdal nehri, Çakmak rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi.....	50
Şekil 6.1. Yenihayat barajı depolama kapasitesi verimi	69
Şekil 6.2. Alaca barajı depolama kapasitesi verimi	69
Şekil 6.3. Almus barajı depolama kapasitesi verimi.....	69
Şekil 6.4. Çakmak barajı depolama kapasitesi verimi	70
Şekil 6.5. Çorum barajı depolama kapasitesi verimi	70
Şekil 6.6. Hasan Uğurlu barajı depolama kapasitesi verimi.....	70
Şekil 6.7. Yedikır barajı depolama kapasitesi verim	71
Şekil 6.8. Almus rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi	74
Şekil 6.9. Hasan Uğurlu rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi	75
Şekil 6.10. Yenihayat rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi	76
Şekil 6.11. Alaca rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi	77
Şekil 6.12. Çorum rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi	78
Şekil 6.13. Yedikır rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi	79
Şekil 6.14. Çakmak rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi	80
Şekil 6.15. Almus rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ)	81
Şekil 6.16. Hasan Uğurlu rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ).....	82
Şekil 6.17. Yenihayat rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ)	83

Şekil	Sayfa
Şekil 6.18. Alaca rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ)	84
Şekil 6.19. Çorum rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ)	85
Şekil 6.20. Yedikır rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ)	86
Şekil 6.21. Çakmak rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ)	87
Şekil 6.22. Alaca barajı davranış analizi-WEAP-ölçülmüş su salınımı miktarı ve rezervuar kapasitesi karşılaştırma grafiği	94
Şekil 6.23. Almus barajı davranış analizi-WEAP-ölçülmüş su salınımı miktarı ve rezervuar kapasitesi karşılaştırma grafiği	95
Şekil 6.24. Çakmak barajı davranış analizi-WEAP-ölçülmüş su salınımı miktarı ve rezervuar kapasitesi karşılaştırma grafiği	96
Şekil 6.25. Çorum barajı davranış analizi-WEAP-ölçülmüş su salınımı miktarı ve rezervuar kapasitesi karşılaştırma grafiği	97
Şekil 6.26. Yedikır barajı davranış analizi-WEAP-ölçülmüş su salınımı miktarı ve rezervuar kapasitesi karşılaştırma grafiği	98
Şekil 6.27. Yenihayat barajı davranış analizi-WEAP-ölçülmüş su salınımı miktarı ve rezervuar kapasitesi karşılaştırma grafiği.....	99

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. WEAP modeli ana ekran ve şematik görünüm	61
Resim 5.2. WEAP modeli veri ekran	62
Resim 5.3. WEAP modeli sonuçlar arayüzü örneği.....	63
Resim 5.4. WEAP modeli senaryo araştırmacıları ekran görüntüsü.....	63
Resim 5.5. Çakmak ve Yedikır rezervuarlarının şematik gösterimi	64
Resim 5.6. Çorum ve Almus rezervuarlarının şematik gösterimi.....	64
Resim 5.7. Yenihayat ve Alaca rezervuarlarının şematik gösterimi.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
C_0	Başlangıç eksikliği
C_t	N periyotlarında kayıtlı t periyodunun başlangıçtaki biriken artan ardışık eksikliği
C_{t+1}	t+1 başlangıç, t sonundaki periyotta biriken artan eksiklik
C_v	Yıllık akım varyasyon katsayısı
D	Yıllık ortalama su talebi
D_j	j th periyodundaki hedeflenen su talebi
D_t	Su talebi
$\bar{D}'$	Rezervuardan bırakılan minimum su miktarı
D'_t	t süresi boyunca hacim birimli salınan su miktarı
e	Yıllık depolama
EV_t	t süresi boyunca net buharlaşma miktarı
F	Sıklık frekansı
f	Su eksikliği periyotlarının sayısı
f_d	Su eksikliğinin oluştuğu toplam süre
f_s	Sürekli ardışık su eksikliği periyotları dizilerinin sayısı
hm^3	Hektometreküp
j	j th su eksikliği döneminde rezervuar sisteminden gelen gerçek su talebi
K_a	Rezervuar aktif hacmi
km^2	Kilometrekare
K_p	Pan katsayısı
K_t	Depolama hacmi
m	Metre
m	Net giriş akımı parametresi
MAR	Ortalama yıllık akış
mm	Milimetre

Simgeler**Açıklamalar**

MR_m	m ayı için ortalama akış
η	Boyutsuz su eksikliği
η'	Maksimum su eksikliği
N	Akış veri sayısı
N_s	Su talebinin karşılandığı zaman periyodu
Q_i	i-th değişkeninin akışı
Q_t	Giriş akımı
R^2	Determinasyon katsayısı
R_t	Zamana bağlı güvenilirlik
R_v	Hacimsel güvenilirlik
S_r (yıllık)	ortalama yıllık sedimantasyon oranı
$S_{r,m}$	m ayı için sedimantasyon oranı
S_t	t süresi boyunca aktif depolama alanındaki sediment yükü
λ	Sürdürülebilirlik
μ	Ortalama yıllık akış
σ	Standart sapma
φ	İyileşebilirlik
Z_t	t anındaki aktif depolama kapasitesi
Z_{t+1}	t+1 anındaki aktif depolama kapasitesi

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BBE	Buhar basıncı eksikliği
BHYA	Binhai Yeni Alan
CBS	Coğrafi bilgi sistemi
DHTBM	Dağıtılmış hidroloji toprak bitki modeli
DOM	Dönüşüm olasılık matrisi
DOP	Doğrusal olmayan programlama
DP	Dinamik programlama
DSİ	Devlet Su İşleri
GA	Genetik algoritma

Kısaltmalar**Açıklamalar**

GAOM	Genetik algoritma optimizasyon modeli
GP	Genetik programlama
LP	Lineer programlama
OYA	Ortalama yıllık akış
SİP	Standart işletme politikası
SNH	Segura Nehir Havzası
STA	Sıralı tepeler algoritması
TSR	Tarımsal su rezervuarları
TYS	Talep yönetimi stratejisi
WEAP	Su kaynaklarını değerlendirme ve planlama sistemi

1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki toplam su kütlelerinin %97,5'ini tuzlu sular oluştururken geriye kalan yalnızca %2,5'luk kısmını tatlı sular oluşturmaktadır. Tatlı suların %70'i kutuplarda, %30'u ise yüzey ve yeraltı sularından meydana gelmektedir. İnsanoğlunun temel ihtiyaçları için günlük kullanması gereken su miktarı 20-50 litre arasında değişmektedir. Bu veriler göz önüne alındığında 2075 yılında suya ulaşamayacak dünya nüfusunun 3-7 milyar olacağı tahmin edilmektedir [1]. Dünya yüzeyinin dörtte üçü sularla çevrili olmasına rağmen kullanılabilir su miktarı gün geçtikçe tükenmektedir. Türkiye, su bakımından ne kadar şanslı bir ülke olarak görünse de dünya üzerinde yarı kurak bir bölgede yer almaktadır. Bu nedenle de bölgelere göre yağış dağılımları değişiklik göstermektedir. Ülkemizin mevcut su kaynaklarına bakacak olursak 120'den fazla doğal göl, 1159 adet baraj gölü ve 834 adet gölet bulunmaktadır [2].

İnsanoğlunun hayatta kalabilmesi için en önemli kaynaklardan birisi sudur. Su kaynaklarını planlama ve yönetme ile uğraşan uzmanlar gelecekteki iklim değişikliklerine uygun olarak nasıl bir politika uygulayacakları ve bunun nasıl bir çevre etkisi olacağı konusunda bazı sorunlarla karşılaşmaktadır [3]. Son yıllarda dünya genelinde küresel ısınma ile birlikte yağışların azalması, sürekli artış gösteren nüfus ve insanların giderek yükselen hayat standartlarına bağlı su tüketiminin artmasının bir sonucu olarak mevcut su kaynaklarımızın daha verimli ve daha dikkatli kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Bunun gerçekleştirilebilmesi için de mevcut su kaynaklarımızın kontrol altına alınması, yüzey ve yer altı sularının mümkün olduğunca baraj, göl, gölet vb. doğal ve yapay alanlarda depolanması gerekmektedir [4]. Suyun tutulması, ihtiyaç kadar dağıtımının sağlanması, taşkınların önlenmesi ve enerji üretimi için en önemli yapılar barajlardır. Barajlar, bulunmuş oldukları bölgelere sosyo-kültürel, ekonomik ve ekosistem anlamında önemli katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, baraj rezervuarlarının ekonomik ömürlerinin planlanan şekilde devam ettirilmesi hatta doğru planlanmasıyla sürdürülebilirliğinin sağlanması büyük önem arz etmektedir.

Bir akarsuyun debisi zamana göre değişir ve buda ihtiyaç olan su taleplerini karşılamak için doğal su kaynağının akış miktarına her zaman güvenmeyi imkansız hale getirir. Bundan dolayı son 50 yıllık süreçte, doğal su kaynaklarını düzenlemek için dünyanın her yerinde çok sayıda rezervuar inşa edilmiştir [5]. Bu rezervuarlar; hidroelektrik üretimi,

içme/endüstri su kaynağı, sulama ve taşkın kontrolü gibi çeşitli amaçlara hizmet etmektedir [6]. Rezervuarın su depolama miktarları, uzun süreli kuraklıklardan sellere kadar uzanan hidrolojik koşullar ve su kullanımındaki değişkenlikten dolayı zamana göre ciddi farklılıklar gösterir [7]. Bunun dışında, toprak kullanımındaki değişim, nüfus artışı ve küresel ısınma gibi dünya genelindeki çevresel olaylar birçok rezervuar sistemi için ek değişikliklere sebep olmaktadır [8]. Daha değişken yağış, sürekli artan sıcaklıklar ve daha sık meydana gelen seller ve kuraklıklar su kaynağı yönetiminin sürdürülebilirliğini tehdit eden unsurlardır [9-10].

Rezervuarlarda meydana gelen buharlaşmanın büyüklüğünün anlaşılması, rezervuarların tasarımı ve sonrasında rezervuar verimi incelemeleri sırasında buharlaşmanın dikkate alınmasını gerektiren su kaynağı yönetiminin önemli bir bileşenidir [11]. Rezervuarlarda depolanan su yüzeyinden buharlaşma ile su kaybı kaçınılmazdır. Bu durum, özellikle de kurak ve yarı kurak iklime sahip bölgeler için büyük önem arz etmektedir. Bu kaçınılmaz su kaybını telafi etmenin yollarından biri, rezervuar planlama analizlerinde açıkça buharlaşmaya yer vermektir. Böylece, sonuçta tahmin edilen rezervuar kapasitesi hem planlanan gerekli su talebini karşılamak hem de buharlaşma kayıpları için uygun olacaktır [12]. Örneğin, Rio Grande Havzasında (USA, New Mexico), orta ölçekli bir rezervuardan (Elephant Butte) buharlaşma, Rio Grande'nin yıllık su tüketim miktarının %15-%25'dir ve bu değer Albuquerque'nin 2 ila 4 yıllık su ihtiyacını karşılamak için yeterlidir [13]. Türkiye'de barajlar ve göllerden yıllık buharlaşan su miktarı, yer altından pompalanan su miktarından daha büyüktür. Ayrıca buharlaşma ile içme suyu ve endüstri amaçlı kullanılan sudan ve sulama suyunun beşte birinden daha büyük bir su kaybının olduğu bilinmektedir [14]. İklim değişikliğinin buharlaşmada bir artışa yol açması beklenmektedir, bu da buharlaşma ile ilgili problemlerin artacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenle, su kaynağı rezervuarın sürdürülebilir işletmesi ve tasarımı için rezervuar buharlaşmasının tahmini önemli bir habercidir [15].

Baraj, göl, gölet gibi su depolama alanlarını en fazla tehdit eden olayların başında su kirliliği ve bu ortamlara bol miktarda taşınan (sediment, tortu, rusubat, çamur) birikinti malzemeler gelmektedir. Bu durum, özellikle bazı yapay veya doğal göllerin, rezervuarların ve barajların zamanla sedimentle dolmasına, suyun kirlenmesine ve depolama hacmi kaybına uğrayarak faydalı ömürlerinin kısılmasına yol açmaktadır [16-17]. Rezervuarda biriken sediment, barajın hacmini azaltır ve barajın taşkın vadi

morfolojisini önemli ölçüde değiştirir [18]. Barajlar alışıla geldiği gibi yenilenebilir olmayan kaynaklar şeklinde tasarlanmıştır. Barajların verimli ömürleri planlanandan önce sona ermektedir. Bunun temel nedeni, rezervuar depolama kapasitesini azaltan sediment akışının rezervuarları tekrar tekrar doldurmasıdır [19]. Rezervuarlar geleneksel olarak neticede sediment birikimi ile son bulacak çoğunlukla yaklaşık 100 yıllık bir sonlu ömür farz edilerek planlanmış, tasarlanmış ve işletilmiştir. [20]. Sedimentasyon, su kaynakları sistemlerinin işletilmesi aşamasında karşılaşılan en önemli sorunlardan biridir. Baraj rezervuarları ise bu sorunun en çok yaşandığı yapılardır. Rezervuar sedimentasyonu, barajların işletme sürelerini kısaltmakta ve işletme sorunları ile karşılaşılmasına sebep olmaktadır. Büyük maliyetler ve yoğun bir çalışmanın sonucu ortaya çıkan ve kullanım amaçları dikkate alındığında bulundukları ülkeler için ekonomik ve stratejik öneme sahip olan barajların sedimentasyon sonucu tam olarak işletilememesi ve rezervuarların tamamen dolarak kullanılamaz hale gelmesi kabul edilmesi zor bir durumdur. Rezervuar sedimentasyonundan kaynaklanabilecek sorunların minimum ölçeklerde tutulabilmesi için rezervuarda oluşan sedimentasyonun düzenli olarak takip edilmesi ve barajın işletme şeklinin buna göre belirlenmesi gerekmektedir [21]. Sediment birikiminin miktarı akım karakteristiğine ve sediment yüküne bağlı olarak rezervuarlar arasında değişiklik gösterir [22]. Tahminen tüm dünyada rezervuar sedimentasyonu nedeni ile ortalama yıllık depolama kaybının toplam depolama kapasitesine oranı %0,5-1 arasındadır [23-24]. Ortalama olarak, depolamadaki bu kayıp yaklaşık 45 km³/yıl'dır. Bu, dünya üzerinde yıllık bazda yaklaşık olarak 300 büyük baraja karşılık gelmekle birlikte yeni barajlarla ilgili çevresel ve sosyal maliyetleri dahil etmeksizin tahmini olarak bu depolama kapasitesinin maliyeti 13 milyar dolardır [25]. Bu da yaklaşık 50 yıl içinde dünya üzerindeki özellikle yarı kurak bölgelerde birçok rezervuarlardaki su depolarının bugünkünün yarısı olacağı ve bunun büyük ekonomik ve çevresel sonuçları olduğu anlamına gelmektedir. Sedimentin kötü etkisini azaltmak ve barajların sürdürülebilirliğini arttırmak amacıyla, sediment birikimi için ölü hacim alanı sağlanmıştır ama maalesef, sediment taşınımının dinamikleri, aktif depolama kapasitesini de dahil olmak üzere tüm depolama kapasitesi boyunca birikme gerçekleşecek şekildedir.

Yapılan literatür çalışması sonucunda, hem rezervuar tasarımlarında hem de rezervuar işletme performansı değerlendirmelerinde genel olarak sadece giriş ve çıkış akımlarının baz alındığı belirlenmiştir. Ayrıca Yeşilirmak Havzası özelinde böyle bir çalışmanın yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, rezervuar planlaması sırasında

buharlaşma ve sedimantasyonun göz ardı edilmesinin, sonraki işletme performansları üzerindeki etkisini sistematik olarak değerlendirmektir. Bu kapsamda, Türkiye'deki Yeşilırmak Havzasında mevcut işletme halindeki yedi rezervuar çalışma alanı olarak seçilmiştir. İlk olarak, rezervuarların su taleplerini karşılayabilecekleri gerekli minimum rezervuar kapasiteleri Sıralı Tepeler Algoritması (STA) yöntemiyle hesaplanmıştır. İkinci aşamada, buharlaşmanın ve sedimantasyonun rezervuarın işletme performansı üzerindeki etkisini tespit edebilmek için davranış analizi yapılmıştır. Rezervuarların işletme performansları güvenilirlik, iyileşebilirlik, maksimum su eksikliği ve sürdürülebilirlik gibi performans indisleri ile değerlendirilmiştir. Üçüncü aşamada, her bir rezervuar için WEAP modeli oluşturulmuştur. Elde edilen rezervuar kapasite seviyesi sonuçları, WEAP modeli ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden alınan rasatlarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Ayrıca, havza genelinde analiz edilen akarsular üzerinde gelecekte inşa edilecek baraj yapımı planlama aşamasında kullanılabilecek boyutsuz rezervuar su depolama kapasitesi verimliliği aracı geliştirilmiştir. Bu araçların, ölçülen sahalarda kullanılması, potansiyel rezervuar alanlarının ön değerlendirmesi sırasında analiz zamanından önemli tasarruf sağlayacaktır. Ölçülmemiş bölgeler için ise bu araçlar gerekli rezervuar su depolama kapasitesi verimliliği (rezervuar kapasitesi ve karşılanabilir su talebi) bilgisini elde etmek için uygun bir seçenek olacaktır.

2. LİTERATÜR

2.1. Baraj İşletme Politikaları ile İlgili Çalışmalar

Neelakantan ve Sasireka çalışmasında, hidroelektrik rezervuar işletmesi için yeni standart işletme politikaları (devamlı ve ikili standart işletme politikaları) ve standart korumalı işletme politikası önermiştir. Bu yeni önerilen politikalar Hindistan'daki Indira Sagar Rezervuarında uygulanmış ve ispatlanmıştır. Devamlı ve ikili standart işletme politikası uygulamaları göstermiştir ki, hedef güç arttıkça, hedef gücün üretildiği periyot sayısı azalmaktadır. Ancak, toplam güç üretimi tüm periyotlarda artmaktadır. Standart korumalı işletme politikasında ise elde edilen değerlerin, belirli amaç fonksiyonları için optimize edilebilir olduğu görülmüştür [26].

Yin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, hem doğal akımı hem de sediment rejimini hesaba katan bir rezervuar işletme yöntemi geliştirerek optimum su dağıtımını araştırmıştır. Bu noktada, rezervuar su seviyesi, rezervuar hacminin sediment doluluk oranı ve rezervuar hacminin sediment doluluk oranının değişim oranı, su seviyesi azalması-yıkama sediment yönetim politikasının üç tetikleyicisi olarak kabul edilmiştir. Rezervuar işletme kuralı eğrilerinin iki farklı grubu sediment yıkama ve sediment yıkamama yılları için tasarlanmıştır ve bu üç tetikleyici, statik rezervuar işletme kuralı eğrilerinin dinamik olarak değişmesi için kullanılmıştır. Bu yaklaşımın etkinliğinin test edilmesi adına Çin'deki Wangkuai Rezervuarına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarda, bu yaklaşımın; rezervuar yönetimi, su kaynağı yönetimi ve mansap nehir ekosisteminin su ve sediment ihtiyacı dengesi için rezervuar yöneticilerinin esnekliğini iyileştirebilir olduğu görülmüştür [27].

Zhao ve diğerlerinin yapmış olduğu bu çalışmada, önceden tanımlanan kompleks işletme kurallarına sahip çok amaçlı bir rezervuar modülü Dağıtılmış Hidroloji Toprak Bitki Modeline (DHTBM) entegre edilmiştir. Su kaynağı güvenilirliğini yükseltmek, taşkın riskini azalmak için tasarlanan koşullu işletme kuralları, bu modüle adapte edilmiştir. Bu birleşik modelin performansı, Teksas'daki Brazos Nehri üzerinde bulunan iki rezervuar (Whitney, Aquilla) üzerinde test edilmiştir. Model, gözlenen giriş akımı, çıkış akımı ve rezervuar depolama verileri kullanılarak kalibre edilmiş ve onaylanmıştır. Hatalı istatistikler (rezervuar kapasitesi, salınan su miktarı, hidrolik güç), her iki rezervuar için günlük, haftalık ve aylık verilerde özetlenmiştir. Whitney Rezervuarı için haftalık

rezervuar depolama kapasiteleri kullanılarak, determinasyon katsayısı (R^2) 0,85 ve Nash-Sutcliffe Katsayısı 0,75 olarak elde edilmiştir. Yeni rezervuar bileşenleri ile, DMTBM; gelişen insan kaynaklı aktiviteler ve mevcut çevresel değişim etkileri altında uyumlu su kaynakları yönetimine destek olan bir platform olduğunu göstermiştir [10].

Moradi-Jalal ve diğerleri, bir rezervuar-sulama sistemindeki rezervuar işletme politikası ile ilgili optimum çoklu ekim sulama alanları için matematiksel bir model geliştirmiştir. Optimum alan bölüştürmesi, uygun bir matematiksel model ile göz önüne alınmıştır. Rezervuar işletmeleri, aylık işletme zamanındaki suyun bırakılma politikası, aylık su dağılımları ve nadiren gerçekleşen dolu savak boşalması ile ilişkilendirilmiştir. Burada, planlanan periyotta çoklu bir ekim örneği için sağlanacak sulama suyu kaynağı ile sistemin yıllık ortalama faydasını maksimize etmek amaçlanmıştır. Bu noktada, sisteme üç set kısıtlama uygulanmıştır: rezervuardaki aylık dengeyi gerçekleştirmek, ekim ürünleri için su ihtiyacını karşılamak, rezervuardaki buharlaşma kaybını göz önüne almak ve rezervuardan bırakılan su ve rezervuar işletmesi için ana denklemler. Oluşturulan model, lineer programlama modelinde olduğu gibi uygun ek sınırlamalardan yararlanılarak formüle edilmiştir. Alternatif sulama politikaları ve giriş akımının hassas analizi final sonuçlarındaki etkileri incelenerek yürütülmüştür. Bu metodoloji, modelin uygulanabilirliğini göstermek için İran'daki rezervuar-sulama sisteminin gerçek bir örneği üzerinde uygulanmıştır [28].

You ve Cai çalışmasında, belirgin bir çift periyot Markov hidrolojik modeli, belli bir lineer olmayan fayda fonksiyonu formu ve verilen giriş akımı olasılık dağılımı ile teorik analizden üretilmiş bir koruma kuralı yöntemi sunmaktadır. Temelini rezervuar işletme simülasyonu içindeki marjinal fayda prensibinin oluşturduğu koruma kuralına bu prosedür uygulanmıştır. Koruma kuralı üretimi için optimizasyon prensipleri simülasyon modelinin içine yerleştirilmiştir. Böylece optimizasyon modellerinin hesaplama zorluğu ve geleneksel simülasyon modellerindeki hatalar nedeni ile oluşan yanlışlıktan kaçınılması planlanmıştır. İndirim oranı, fiyat esnekliği, belirsizlik, giriş akımı ve kapasite seviyeleri gibi faktörler göz önüne alındığında, standart işletme politikasına göre koruma politikası ile fayda sonuçlarında iyileşme görülmüştür [29].

Bayazıt ve Ünal, çeşitli rezervuar performans kriterlerinde korumalı işletme politikasına sahip bir su kaynağı rezervuarın işletme etkilerini incelemiştir. Koruma parametrelerinin

fonksiyonları gibi değişen ortalama ve maksimum kısıtlıya, güvenilirliğe ve iyileşebilirliğe nasıl karar verileceği ve bu kriterler arasındaki ilişkiyi elde etmek için farklı riskten korunma derecelerine sahip politikaların uygulandığı simülasyonların sonuçları kullanılmıştır. Standart işletme politikasının güvenilirlik ve iyileşebilirlik arasındaki bağıntıda en iyi olduğu ve su eksiklikleri konusunda da memnun edici sonuçlar verdiği görülmüştür. Eğer koruma, rezervuarda çok az su olduğunda uygulanırsa, ortalama su eksikliği artacak olmasına rağmen, gelecekte çok büyük bir su eksikliği oluşma riskini azaltmaktadır. Eğer koruma, su talebi karşılanıyorken düzenli olarak kullanılırsa, rezervuarın performansının çok daha stabil kaldığı ve ortalama su eksikliği azaldığı ancak bunların eksiklik değerinin artması sonucunda olduğu gözlenmiştir [30].

Mujumdar ve Ramesh, birçok ürünün sulanması için kısa ve gerçek zamanlı bir rezervuar işletme politikası geliştirmiştir. Bu modeli, daha önceki sulama yapılan rezervuar işletme modellerinden ayıran iki belirgin özellik bulunmaktadır: birincisi belirli bir zaman diliminde ürün su payını göz önüne alan yararlılık, ikincisi uyarlanabilir bir su salınımı politikası sağlama yeteneği. İki modelin kullanımı ile ürünlerle suyun kullanım ilişkisine sahip bütünsel bir rezervuar işletmesi gerçekleştirilmiştir. Bir işletme politikası modeli yıl içindeki zaman periyoduna karşılık rezervuar su salınımını optimize ederken, diğer bölüştürücü model bir zaman periyodu içinde ürünlere karşılık sulama dağılımını optimize etmiştir. Bu model Hindistan, Karnataka'daki Malaprabha Rezervuarında uygulanmıştır. Kararlı durumdaki simülasyon ile kısa ve gerçek zamanlı rezervuar işletme politikası göstermiştir ki, daha kısa süreli işletme süreleri için, gerçek zamanlı uyarlanabilir politika kritik düşük akış yıllarında daha iyi performans göstermektedir [31].

Hashimoto ve arkadaşları, su kaynakları sistemlerinin muhtemel performanslarını değerlendirmek için üç kriter üzerinde durmuşlardır. Bu ölçümler, bir sistem nasıl eksiklik gösterir (güvenilirlik), eksiklikten çabuk nasıl geri döner (iyileşebilirlik) ve eksikliğin sonucunun şiddeti nasıl olabilir (yararlanabilirlik) açıklamışlardır. Bu ölçütler, değerlendirmelerde yardımcı olarak kullanılmış ve su kaynakları projelerinde işletme alternatif tasarım ve işletme politikası seçenekleri sağlamıştır. İşletme politikalarının çeşitliliği ile su kaynağı bir rezervuarın performansı bunların kullanımını açıklamıştır [32].

Usman Rashid ve diğerleri 2015 yılında çok amaçlı rezervuarlar için optimum işletme sağlamak amacıyla RESOOSE modelini kullanmıştır. Modelde ayrı ayrı 8 adet senaryo

geliştirilmiştir. Optimizasyon sonrası elde edilen sonuçlarda sırasıyla hidroelektrik enerji, sulama ve depolama kapasitesi %11, %13 ve %80 artış gösterirken, taşkın riski %80 azalmıştır. Model ayrıca Tarbela ve Chaska rezervuarlarında da kalibre edilmiştir [33].

Ahn ve diğerleri 2014 yılında suyun daha verimli kullanılması için rezervuar işletme politikasında optimizasyon çalışması yapmıştır. Etiyopya'daki önceden sulama şeması belli beş adet baraj işletme senaryosu için aylık rezervuar işletme politikalarına karar verme optimizasyonu uygulanmıştır. Optimizasyonda Microsoft Excel Solver programı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada rezervuarın tüm havzanın su ihtiyacını karşılayamayacağı sonucuna varılmıştır [3].

Soundharajan ve diğerleri 2016 yılındaki çalışmalarında, Hindistan'daki Beas Nehri üzerinde bulunan Pong Rezervuarını incelemişlerdir. Rezervuarın depolama ihtiyacında ve performansında iklim değişikliğinin neden olduğu belirsizlikleri tanımlamak için Monte-Carlo simülasyon yaklaşımını kullanmışlardır. Yazılımla, kalibre edilmiş yağış-akış ve yağış-sıcaklık senaryoları simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda rezervuar kapasitesi gelecekteki daha kurak iklim şartlarından dolayı 0,3 gibi yüksek katsayılı bir değişkenlik göstermiştir [34].

Taghian ve diğerleri yaptıkları çalışmada, şiddetli su eksikliklerinin şiddetini azaltmak için hedef verimin ölçek ayarlaması kullanılarak bir baraj işletme politikası geliştirmiştir. Bunun için, hem riskten koruma kuralını hem de geleneksel kural eğrisini aynı anda optimize etmek için hibrit bir model oluşturulmuştur. Bu birleşik modelde, basit bir genetik algoritma içinde lineer programlama algoritmasını içeren bir simülasyon programı ile birleştirilmiştir. Bu yöntemle, rezervuarlar için optimal su bölüştürmesini ve hedef depolama seviyesini gerçekleştirmek için, öncelik kavramı ile bir işletme politikası uygulamaya konulmuştur. Metodu uygulamak için Güney İran'da çok amaçlı çoklu rezervuar sistemi seçilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, model hem normal hem de kıtlık koşulları altında rezervuar işletmesi için optimum işletme politikası oluşturmada iyi bir performans göstermiştir [35].

Ahmadianfar ve diğerleri sundukları çalışmada, yukarı ve aşağı kural eğrisinin her birinde bir geçiş bölgesi yaratmak için koruma kuralı ile fuzzy ölçeklendirme faktörleri uygulamıştır ve daha sonra bu bölgede ölçeklendirme faktörlerini kademeli olarak

değiştirmiştir. Bu öneri için, bir aylık simülasyon modeli geliştirilmiştir ve uzun dönemli simülasyon periyodunda tarımsal talebi ve minimum akım su kaynağını kapsayan iki objektif fonksiyonun modifiye edilmiş ktlık indeksinin hesaplanması için domine olmayan sıralama genetik algoritmaya bağlanmıştır. Güney İran'daki Zohre çok amaçlı rezervuar sistemi örnek çalışma için göz önüne alınmıştır. Önerilen riskten korunma kuralının sonuçları, uzun vadeli sistem performansını basit riskten korunma kuralına kıyasla yüzde 10'dan yüzde 27'ye yükseltmiştir ve yeni koruma kuralının, geleneksel koruma kuralına göre su ktlığı problemini hafifletmede daha etkili olduğu görülmüştür [36].

Adeloye çalışmasında, Hindistan'daki Pong Rezervuarının günümüz ve iklim değışikliğı etkisindeki gelecek performanslarının üzerinde geliştirilmiş, koruma-birleşik rezervuar kural eğrilerinin etkilerini değerlendirmiştir. Analizlerin temelini, HYSIM yağış-akış modeli ile simüle edilmiş geçmiş ve iklim değışikliğı akım serileri oluşturmaktadır. İklimsel kaygıları sıcaklıkta ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye), yağışta ($\%-10$ 'dan $\%+10$ 'a) delta değışimleri kullanılmıştır. Bir çift ardışık tepeler algoritması ve genetik algoritma optimizeri ile elde edilen kural eğrilerinin eşliğinde simüle edilmiş akım senaryolarıyla güçlendirilerek rezervuar simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Rezervuar performansı sürdürülebilirlik, güvenilirlik, iyileşme ve maksimum ktlık miktarı açısından özetlenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki; geçmiş maksimum ktlık, koruma ile %61 seviyesinden birçok su tüketici tarafından tolere edilebilir olan %25'in altına %20'ye düşmüştür. Yağıştaki iklim değışikliğı tedirginliğı daha yüksek yağış, beraberinde daha fazla giriş akımı beklenirken tam tersi sonucu ortaya koymuştur. Azalan akım koruma kullanılmadan maksimum su ktlığının %66'dan daha kötü olmasına sebep olmuştur; bu koruma ile %26'ya iyileştirilmiştir. Riskten korunma ile ilgili operasyonel uygulamaların iyileştirilmesi, iklim değışikliğınden kaynaklanan su ktlığı etkilerini etkili bir şekilde ortadan kaldırabilir olması bu çalışmanın önemli bir sonucu olmuştur [37].

Titus ve Putuhena çalışmasında, birinci önceliğı hidroelektrik olan Murum barajı için işletme kural eğrileri geliştirerek en uygun işletme yöntemini seçmeyi amaçlamaktadır. Çalışma için bir deneme yanılma yöntemi seçilmiştir. Rezervuar işletme modeli ve simülasyonu yağış-akış modellemeleri ile akım ortaya çıkarıldıktan sonra, geçmiş yağış verileri kullanılarak başlatılmıştır. İşletme kural eğrileri geliştirmek için üç simülasyon yürütülmüştür. Bunlar, temel kural eğrileri, ideal kural eğrileri ve Sarawak Enerji Berhad'ın ihtiyaçlarına göre kural eğrileridir. Bu kural eğrilerinin üç seti de barajın türbin

deşarjını bir parametre gibi kullanarak ve 635 MW sabit enerji hedefini gerçekleştirmek için başarıyla geliştirilmiştir [38].

Yang ve diğerleri yaptıkları çalışmada, değişkenliği azaltmak ve iklim değişikliğine adapte etmek için çok amaçlı işletme kuralları elde etmeyi amaçlamaktadır. İşletme kural eğrileri ve rezervuar işletme fonksiyonunun kombinasyonu ile birlikte, uyarlanabilir çok amaçlı işletme modeli önerilmiş ve geliştirilmiştir. Bu optimal işletme kuralları hem dinamik programlama hem de NSGA-II yöntemi karşılaştırılarak ve tartışılarak türetilmiştir. Projeksiyon takip yöntemi en iyi işletme kurallarını seçmek için kullanılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, NSGA-II ile elde edilen rezervuar işletme kuralları güvenilirliği, su kaynağı verimini ve hidroelektrik enerjisini arttırabilir ve su kaynağı üzerine odaklanmış bu kurallar önemli ölçüde (%18.7) rezervuar yıllık su kaynağı verimine katkı sağlayabilir. Buda, önerilen modelin iklim değişikliği açısından rezervuar işletmesinde etkili olduğunu kanıtlamıştır [39].

Adeloye ve Soundharajan çalışmasında, Hindistan, Himachal Pradesh, Pong rezervuarı için çeşitli biçimlerde kullanılan verilerin Genetik Algoritma ile (GA) optimize edilmiş bölgeye dayanan işletme politikalarını geliştirmiş ve test etmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, rezervuarın maksimum eksikliği %60'ın üzerinden koruma ile %25'lere düşmüştür. Daha kompleks koruma politikaları, örneğin iki bölge ve/veya sadece geçici değişken ölçeklendirme oranı performansta büyük ölçüde iyileşmeye neden olmuştur. Bunların hepsi göstermektedir ki, su kıtlığı sonuçlarının (projelenmiş iklim değişikliği gibi) neden olduğu rezervuar su eksikliğinin etkili olarak dengelenmesi için koruma politikalarının çok da kompleks olması gerekmemektedir [40].

Fang ve diğerleri yaptıkları çalışmada, hedef depolama eğrilerine dayanan yeni bir depolama dağılım eğrisi önerir. Çok rezervuarlı bir sistemin işletme problemlerini, ortak talepler ve su transferi-tedarik projeleriyle birlikte çözmek için ortak işletme kuralları da önerilmiştir. Bu ortak işletme kuralları, her bir rezervuardan su salınımını belirlemek için bir depolama dağılım eğrisi, sistemden toplam bırakılacak suya karar vermek için bir birleştirici rezervuara dayanan koruma kuralını ve bir periyotta yönlendirilmiş su miktarına karar vermek için bir su yönlendirme kuralını içerir. İyileştirilmiş parçalar kümesi optimizasyonu algoritması kullanılarak hedef depolama eğrileri, koruma kural eğrileri ve su yönlendirme eğrilerinin kilit noktalarının optimizasyonu için bir simülasyon-

optimizasyon modeli kurulmuştur. Önerilmiş ortak işletme kuralları ve hedef depolama eğrilerinin geçerliliğini ispatlamak için su transferi-tedarik projesi içeren Liaoning İli, Çin’ de bulunan çok rezervuarlı su kaynağı sistemi ele alınmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki; kompleks sistemler için önerilen işletme kuralları uygundur. Hedef depolama eğrilerine dayanan depolama dağılım kuralı sistem depolama dağılımı bakımından daha iyi bir performans göstermiştir [41].

Wan ve diğerleri sundukları çalışmada, su seviyesi düşüm ve tekrar dolun döngüsünün dağılımı, taşkın kontrol kapasitesinin kararı ve geleneksel kural eğrilerinin yani su kaynağı kural eğrilerinin yasası ve tasarımı etrafındaki üç temel problemin analizi ile koruma teorisi ve kural eğrilerinin bağlantısını belirlemektedir. Geleneksel su kaynağı kural eğrileri ile koruma teorisinin genel yorumu yürütülmüştür. Her iki teorik analiz ve Danjiangkou Rezervuarı gözler önüne sermiştir ki, geçmiş verilere dayalı kural eğrileri koruma teorisinin özel bir ifadesi gibi açıklanabilir. Bu esas bağlantı bize durağan olmayan durumlarda güncellenen kural eğrilerini daha genel ve bilimsel bir yöntem olarak önermeye izin vermektedir. Bu bağlamda, koruma teorisi kullanılarak iklimsel adapte edilen kural eğrisi stratejileri çözülmüştür. Bu araştırma, değişen çevrede rezervuarların pratik uyarlanabilir işletmesi için yardımcı olmuştur [42].

Cheng ve diğerleri, Kuzey Tayvan’daki en önemli taşkın kontrol ve su depolama sistemi olan Da-han Creek havzasında kısa dönemlik taşkın riskini ve uzun dönem su kıtlığı riskini değerlendirmek için bütünleşik bir yöntem uygulamışlardır. Monte Carlo simülasyonu ile ortaya çıkmış tayfun süresince yapay giriş akımı hidrografına dayanan rezervuar su salınımına karar vermek adına rezervuar taşkın kontrolü ve su kaynağı için bir optimizasyon modeli kabul edilmiştir. Bu su salınımı daha sonra, yeni geliştirilmiş bir geri yayılım sinir ağına dayalı bir model kullanarak mansap akış kontrol noktasında su seviyesini hesaplamak, hesaplama karmaşıklığını azaltmak ve otomatik-etkin risk değerlendirmesi elde etmek için kullanılmıştır. Bir tayfundan sonra, hesaplanmış mansap su seviyeleri ve son rezervuar su seviyeleri sırasıyla taşkın riski ve su kıtlığı riski için kullanılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, rezervuar için farklı üst limit düzenlemeleri su kıtlığı riskinin $1,19 \times 10^{-5}$ ile $75,6\%$ ’sı arasında önemli bir etkiye sahiptir. Bu etki, kuraklık periyotları boyunca Shih-Men Rezervuarının dar depolama kapasitesi ve yetersiz giriş akımı nedeniyle oluşmuştur. Ancak, mansaptaki setler için yüksek koruma standartları

nedeniyle tayfun süresinde üst limit düzenlemeleri çok küçük bir role sahiptir (%0,149 ile %0,157 arasında) [43].

2.2. Baraj İşletme Performanslarına Buharlaştırmanın Etkisi ile İlgili Çalışmalar

Lowe ve diğerleri çalışmasında, buharlaşma tavaşı kullanılarak yapılan rezervuar buharlaşma ölçümleri ile ilgili belirsizliklerin miktarını ölçmek için bir sistem sunmaktadır. Monte Carlo simülasyonu ile birleştirilmeden önce Bayes istatistiği ve öznel yargılamayı içeren istatistiksel tekniklerin kombinasyonları kullanılarak girdilerin her biriyle ilgili belirsizliklerin miktarı belirlenmiştir. Bu sistem, Avustralya'daki Werribee Havzasında bulunan üç adet rezervuara uygulanmıştır. Rezervuar buharlaşma tahminlerini çevreleyen %95 olasılık aralığı, en iyi tahminin ± 40 'ı kadardır. Belirsizliğe en büyük katkı sağlayan faktörün, iklim istasyonu olmayan rezervuarlardaki buharlaşma tavaşı tahminlerinin ve ardından yıllık tava katsayısının kendisini çevreleyen belirsizliğin olduğu gösterilmiştir. Bu değerlendirme göstermektedir ki; belirsizlikteki en büyük azalma rezervuara bir buharlaşma tavaşı kurmak ile gerçekleştirilebilmiştir [11].

Wurbs ve Ayala çalışmasında, su kaynaklarının gelişimi ve yönetiminin günümüz koşulları ile geçmiş doğal hidrolojisini birleştiren bir model sistem kullanarak, nehir/rezervuar su bütçelerinde ve su yönetiminde rezervuar yüzey buharlaşmasının rolünü araştırmıştır. Texas'da 3415 rezervuarda yapılan ölçümler sonucunda uzun süreli ortalama buharlaşmanın 7,53 milyar m^3 /yıl olduğu tespit edilmiştir. Bu da 2010 yılı boyunca eyaletteki toplam tarımsal su ihtiyacının %61'ine veya içme suyu ihtiyacının %126'sına karşılık gelmektedir. Buharlaşma değerleri, buharlaşma oranları ve rezervuar yüzeyi hidrolojik koşulları ile değişiklik göstermiştir. Yıllık eyalet geneli toplam buharlaşma hacimleri %75, %50 ve %25 aşma ihtimalleriyle birlikte sırasıyla 7,07, 7,47 ve 7,95 milyar m^3 /yıl'dır. Buharlaşmanın, uzayan ciddi kuraklıklarda su kaynaklarının kapasite yönetimini etkileyen en önemli etken olduğu görülmüştür [7].

Alvarez ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, bölgesel ölçüde tarımsal su rezervuarlarından (TSR) buharlaşma kaybının büyüklüğünü değerlendirmek ve su depolama kapasitesi verimi üzerinde buharlaşma etkisini analiz etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla, Güneydoğu İspanya'daki Segura Nehir Havzasında (SNH) sulama amaçlı kullanılan mevcut rezervuarlar belirlenmiştir ve her bir rezervuar için aylık ve yıllık su

kayıpları hesaplanmıştır. Bunu gerçekleştirmek için, pan katsayısının aylık ve yıllık değerlerine, K_p 'ye karar verilmiş ve hava buhar basıncı eksikliğinin (BBE) bir fonksiyonu olarak bölgesel iklim koşulları ve rezervuarların geometrik boyutları (alan ve derinlik) hesaba katılmıştır. Bölgesel buharlaşma kayıpları Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknikleri toplamı kullanılarak tahmin edilmiştir. Sırasıyla, 14145 tarımsal su rezervuarlarının toplamının 4901 hektarlık alanı kapladığı bunda toplam alanın 0,26'sı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu değer sulama ve SHN'nin toplam alanlarının %1,81'ini temsil etmektedir. Sonuçlar göstermiştir ki, yıllık ortalama su kaybı 106 m^3 'tür ve bu değer rezervuarda 1,404 m derinlikteki su kaybına ve havzada sulama için kullanılan suyun %8,3'üne karşılık gelmektedir. Bu miktar, çevresel su talebi ile benzerdir ve endüstriyel su talebinden daha yüksektir ve yaklaşık iki milyon insanın yaşadığı bir bölgede içme suyu kullanımının %27'sine eşittir. Yıllık K_p 'ye dayalı olarak kullanılan yöntem, TSR'lerden kaynaklanan bölgesel buharlaşma kayıplarını değerlendirmek için en doğru yöntemlerden biridir ve pan katsayısı veren BBE'ye bağlı fonksiyonun mevcut olması koşuluyla, diğer bölgelere ve iklimlere genişletilebilir [44].

Campos çalışmasında, birimsiz rezervuar su bütçesi denkleminde, rezervuar depolama sürecindeki verim-savaklama-buharlaşma kaybı alışverişi modeli için grafiksel bir metot inşa etmiştir. Rezervuar giriş akımları, uzun dönem işletme için toplam ortalama giriş akımının toplamı olarak: buharlaşma, savaklanma ve verim olmak üzere üç bölüme dönüştürülmüştür. Rezervuar morfolojisi, buharlaşma, hidrolojik nehir rejimi ve rezervuar kapasitesinin bir fonksiyonu gibi rezervuar depolama sürecinin daha iyi anlaşılmasını sağlamak için düzenli üçgenler diyagramı önerilmiştir. Giriş akımları korelasyonsuz seri olarak kabul edilmiş ve Gamma olasılık dağılımı fonksiyonundan meydana getirilmiştir. Bu diyagram Monte Carlo metodu kullanılarak geliştirilirken, grafikler aralığı 0,6'dan 1,6'ya değişen ortalama yıllık akımların varyasyonlarının katsayısına sahip aralıklı nehirler için geliştirilmiştir. Bu modelde, rezervuar tek yıllık sistemdedir ve değerler kararlı durum koşulları için referans edilmiştir [45].

Sivapragasam ve diğerleri yaptıkları çalışmada, Genetik Programlamaya (GP) dayanan alternatif bir yaklaşım önermiştir. GP ve Penman modeli sonuçları hem buharlaşma kaybı tahminleri hem de rezervuar programlaması için karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda GP ve Penman modelinin buharlaşma tahmininde eşit derece iyi oldukları, ayrıca GP modelinin sızma kaybı (rezervuardaki diğer kayıplar) konusunda daha iyi

olduğu görülmüştür. Ayrıca, rezervuar programlamasının rezervuar kayıplarının rezervuar su dengesi denkleminde nasıl modellendiğine bağlı olarak etkilendiği gösterilmiştir [46].

Al- Aqeeli ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, bir rezervuar için yıllık ortalama hidroelektrik üretiminin maksimizasyonunu arttırmak için Genetik Algoritma Optimizasyon Modeli (GAOM) bir yaklaşımı geliştirmeyi ve formüle etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç için, iki simülasyon algoritması tasarlanmış ve Kuzey Irak'taki Mosul rezervuarının işletmesi için 20 yıllık süre boyunca bağımsız olarak uygulanmıştır. Birinci algoritma rezervuar işletmesinin geleneksel simülasyonuna dayanmakta iken, ikinci algoritmada (Salg) nüfus değişimi kullanılarak rezervuar işletme süreci için GAOM yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Bu iki algoritmanın performansı onların 20 yıllık optimum hidroelektrik üretimi performansları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. GAOM, 17 yılda bu iki farklı algoritmayı kullanarak hidroelektrik üretimi arttırmayı başarmıştır, Salg algoritması bunların en iyisidir. Tüm bunlar, su dengesi denkleminde yağış ve buharlaşma eklenerek yapılmıştır. Sonrasında, GAOM Salg algoritmasını kullanarak bu iki parametrenin hacimsel değerlerini göz önüne alarak uygulanmıştır. Bu durum, buharlaşma ve yağış verileri dışındaki ve gözlem verileri ile uygulanan aynı algoritmalarla karşılaştırıldığında optimal sonucu vermiştir. Sonuçlar, GAOM'nin geliştirilmiş yaklaşımı Salg'ın hidroelektrik üretimini arttırmak üzerindeki etkinliğini kanıtlamıştır. Buna ek olarak, sonuçlar rezervuar işletme modellerine buharlaşma ve yağış parametrelerinin eklenmesinin önemini göstermiştir [47].

Adeloye ve diğerleri yaptıkları çalışmada, hem temel hem de iklim değişikliği koşulları için rezervuar yüzeyi net buharlaşma akışının pozitif etkilerinin incelenmesi için biri İngiltere'de diğeri İran'da olmak üzere iki çok amaçlı rezervuar sistemi üzerinde rezervuar kapasitesi-verimlilik-güvenilirlik planlama analizleri uygulamıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, temel koşullar altında net buharlaşma değerlendirmesi İngiliz sistemleri için daha düşük depolama gerektirecekken, İran sistemleri için daha yüksek depolama gerektirecektir. Bu sonuçların uygulamadaki önemi, analiz edilmiş İngiliz sistemleri yüzey akışları değerlendirmesi dışında gelecek su eksikliklerine karşı kendine bir koruma sağlayabilecekken; yüzey akımları göz ardı edilmiş İran sistemleri gelecek her su eksikliğinde şiddetli problem yaşayacaktır [15].

Montaseri ve Adeloye 2004 yılındaki çalışmasında, rezervuarlarda depolanan su yüzeyinde buharlaşmadan kaynaklanan kayıpların kaçınılmaz olduğunu, kurak ve yarı kurak iklimlerde büyük önem taşıdığını belirtmişlerdir. Bu kaybı telafi etmenin birinci yolu, rezervuar planlama analizine buharlaşma sürecini dahil etmek olduğunu; böylece hem buharlaşma kayıplarını hem de planlanan su tüketim talebini karşılayacak rezervuar kapasitesi tahminleri yapılabileceğini ön görmüşlerdir. Ancak, genellikle buharlaşma ölçümleri mevcut değildir ve çok az rezervuar planlama tekniği buharlaşmayı açıkça göz önüne almaya uyumludur. Bu nedenle, bu çözüm sıklıkla uygulanabilir değildir. Sonuç, günümüzde bu gibi bölgelerde rezervuar planlaması süresi boyunca buharlaşma kayıpları için çok az rehberlik eden yöntemin olduğu yönündedir. Bu çalışma, rezervuar planlaması boyunca buharlaşma düzeltilmesi yapmak için bir kural geliştirmek amacıyla İran'daki Urmia Bölgesine ait verileri kullanmıştır [12].

Terzi ve diğerleri çalışmada, Konya ilinde yer alan Meram Çayı üzerine inşa edilmiş Altınapa Baraj Gölü'nün rezervuar işletme çalışması için veri madenciliği sürecini kullanmışlardır. Modeller oluşturulurken iki farklı veri setinden yararlanılmıştır. Veri setlerinin birincisinde, giriş akımı, toplam su tüketimi ve yağış, ikincisinde ise giriş akımı, buharlaşma ve yağış parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelerin farklı kombinasyonları oluşturularak hazne hacmi tahmininde farklı modeller geliştirilmiştir. Modeller geliştirilirken KStar, REPTree, M5P, DecisionTable, LinearRegression ve MultilayerPerceptron algoritmalarından yararlanılmıştır. Geliştirilen modelden elde edilen sonuçlar ışığında, rezervuar işletme çalışmalarında veri madenciliği sürecinin kullanılabilir olduğu görülmüştür [49].

Benzaghta ve diğerleri yaptıkları çalışmada, küresel ısınma ve havadaki sera gazı yoğunluğunun artmasına bağlı olarak rezervuarlardaki buharlaşma miktarı artışına dikkat çekmişlerdir. Buna örnek olarak da Avustralya'da yağışların %95'inin tekrar buharlaştığı belirtilmiştir. Çalışma, rezervuarlardaki buharlaşma miktarının azaltılması için yapılan fiziksel ve kimyasal yöntemleri irdelemiştir. Sonuçlar, fiziki yöntemlerin buharlaşmayı çevresel etkiler oluşmadan etkin bir biçimde azaltabildiğini ancak kimyasal yöntemlerin su kalitesini etkilediğini ve buharlaşmayı %20 ila %40 arasında azaltabildiğini göstermiştir [50].

Gökbülak ve Özhan çalışmasında, Türkiye’de bulunan doğal göllerde ve rezervuarlardaki buharlaşma miktarını tahmin etmeyi ve bu değerleri Türkiye’deki su kaynaklarıyla kıyaslamayı amaçlamışlardır. Çalışma kapsamında 129 göl ve 223 rezervuar incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki; $2,7 \times 10^9$ m³/yıl’ı göllerden, $4,1 \times 10^9$ m³/yıl’ı rezervuarlardan olmak üzere toplamda yüzey alanlarından yaklaşık olarak $6,8 \times 10^9$ m³/yıl buharlaşma meydana gelmektedir. Bu değer, 1999 yılında yer altı sularından karşılanan içme suyu ($5,7 \times 10^9$ m³) ve endüstriyel su (4×10^9 m³) miktarını geçmektedir [14].

Zhao ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri’nde bulunan 721 adet rezervuardaki buharlaşma miktarını tahmin etmek için uzaktan algılama ve modelleme yaklaşımlarını birleştirerek yeni bir yöntem geliştirmiştir. Rezervuar yüzey alanları için Mart 1984’den Kasım 2015’e kadar ki veri setleri kullanılmıştır. 721 rezervuardan elde edilen uzun vadeli ortalama buharlaşma miktarının, 2010 yılı için ABD’nin kamuya arz ettiği su miktarının %93’üne ($33,73 \times 10^9$ m³) eşit olduğu görülmüştür. Çalışma süresi boyunca artan bir buharlaşma oranı ($0,0076$ mm / d / yıl) ve toplam yüzey alanının ($-0,011 \times 10^9$ m²/yıl) biraz azalan trendi tespit edilmiştir. Sonuç olarak, toplam buharlaşma önemsiz bir eğilim gösterirken, önemli ölçüde de yerel benzemezlik göstermiştir. Bu yeni rezervuar buharlaşma veri setinin, daha verimli su yönetimi uygulamalarının kolaylaştırılmasına yardımcı olabileceği düşünülmüştür [51].

2.3. Baraj Rezervuarlarındaki Sediment Birikimi Tespiti ve Sedimentin Baraj İşletme Performanslarına Etkisi ile İlgili Çalışmalar

Wu ve diğerleri 2007 yılındaki çalışmasında, 1960 yılından beri sedimentasyon problemi yaşayan Çin, Sarı Irmak Nehri üzerinde inşa edilmiş Sanmenxia Rezervuarının sedimentasyon süreci ile oluşan, gelen akım ve baraj seviyesi değişimini incelemiştir. Analizlerde, sedimentasyonun süre-durum etkisi kullanılmış ve rezervuar davranışı incelenmiştir. Sanmenxia Barajının 113,5 km membasında bulunan Tongguan Barajının su seviyesinde artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Tongguan’ın Sanmenxia’ya göre sediment depolamada 2 yıl geride olduğu gözlenmiştir. Diğer taraftan, baraj rezervuarında biriken sedimentin sadece mevcut zamandaki değil, gelecek 3-4 yıllık süreçte de akım ve baraj işletme koşullarını yakından etkilediği görülmüştür. Araştırma sonuçlarının, Sanmenxia Barajının işletmesini optimize etmek için pratik öneme sahip olduğu ve

rezervuar sedimentasyon sürecindeki süre durum olgusunun bulunmasının sedimentasyon biliminin ilerlemesine katkı sağlayacağı belirtilmiştir [52].

Shokri ve diğerleri sundukları çalışmada, su ihtiyacını karşılamak ve sediment yıkama işlemini gerçekleştirmek adına eş zamanlı optimum işletme politikaları belirlemek için iki bilinmeyenli olasılıklı dinamik programlama modeli sunmuştur. İki bilinmeyenli bu modelin kapasitesini belirlemek için, dört ayrı işletme politikası geliştirilmiş ve bu beş farklı senaryo İran'ın kuzeyindeki Sefidroud Barajı üzerinde çeşitli performans indisleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Tüm senaryolar, su ve sediment salınımının farklı kuralları ve öncelikleri ile tasarlanmıştır. En iyi performans indislerinin hem giriş akımı hem de sediment belirsizliğini göz önüne alan optimizasyon senaryolarının sonuçlarından elde edildiği gözlemlenmiştir [53].

Wang ve Hu, daha önceki çalışmalarla birlikte, Çin'deki çoğu nehirde sediment taşınımının 2-4 aylık taşkın sezonunda meydana geldiğini ve bu süreçte yıllık akımın %50-60'ı ile sediment yükünün %80-90'ını taşıdığını tespit etmişlerdir. Taşkın mevsiminden sonra berrak suyun depolanması ve taşkın mevsiminde bulanık suyun serbest bırakılmasıyla, rezervuarda daha az tortu birikintisi olurken, düşük akım sezonunda rezervuar hala hidroelektrik enerjisi için yeteri kadar su depolayabilmektedir. The Three Gorges ve Sanmenxi Rezervuarları bu stratejileri uygulamış ve efektif olarak sediment kontrolü sağlamışlardır. Xiaolangdi Rezervuarında türbülanslı akımlar temel sediment kontrol stratejisi olmuştur. Boş yıkama, aşınmış sedimenti çıkışlar boyunca akıtarak, geçici uzaklık boyunca nehir akışını geçici olarak oluşturmak için rezervuardaki suyun aşağı çekilmesini içerir. Bu çalışma, Hengshan ve Zhuwo Rezervuarları için sunulmuştur. Biriken suyun rezervuardan akımlarla uzaklaştırılmasını diye, rezervuarda çalkantı oluşturmak için jet tarayıcılar kullanılmıştır. Sediment salınım verimliliği; temiz suyu tutup bulanık suyu bırakmak için %30-100, türbülanslı akım için %6-40; ve boş yıkama için %2400-5500'dür. Boş yıkama, ekosistem üzerinde aşağı havzaya ulaşan yüksek ekolojik strese neden olmuştur. Temiz suyu depolayıp bulanık suyu salmak, hidroelektrik enerjisi elde etmek ve ekosistemin devamlılığı açısından iyi bir strateji oluşturmuştur [54].

Araújo ve arkadaşları 2006 yılındaki çalışmalarında, yarı kurak iklim şartlarında su mevcudiyetine rezervuar siltlenmesinin etkisini belirlemek için bir yöntem sunmuşlardır. Yöntem, Brezilya, Ceara Eyaletindeki yedi nehir havzasında uygulanmıştır. Su verimliliği

birkaç güvenilirlik seviyesi için stokastik modelleme kullanılarak hesaplanmıştır ve hedeflenen alanlar için su veriminin azalması belirlenmiştir. Rezervuarların nispi depolama kapasitesi bakımından nispi verim düşüşünü gösteren verim-hacim elastikiyeti kavramı sunulmuş ve uygulanmıştır. Sonuçlar, depolama kapasitesinin sediment kaynaklı yılda %0,2 düştüğünü göstermektedir. Buda, 50 yıldan daha az sürede su kıtlığının neredeyse iki katına çıkacağı anlamına gelmektedir ki depolama kapasitesindeki azalmanın, buharlaşmadaki artıştan üç kat daha fazla verim düşüşüne etkisi olduğu görülmüştür. Ortalama %90 güvenilir verim-hacim elastikiyeti 0,8'dir. Bunun anlamı, Ceara'daki global su veriminin rezervuar siltlenmesinden kaynaklı yılda 388 l/s^{-1} olarak beklenmesidir [55].

Tate ve Farquharson çalışmasında, Tarbela Barajını, membasında planlanan Basha Baraj inşaatını ve mansabında bulunan Ghazi Barotha hidroelektrik sistemini kapsayan bir simülasyon tanımlamaktadır. Bu çalışma, farklı zaman periyotları için gelişme ve işletme senaryolarının bir aralığında havzadaki kaynak ve talep arasındaki ilişkiyi çalışma fırsatı veren yenilikçi bir yaklaşım sunmuştur. Pakistan'daki üst Indus Havzası ve Tarbela Barajının sistem simülasyon modellemesini gerçekleştirmek için "Hydro" programı kullanılmıştır. Sonuçlar, Tarbela için ayrı potansiyel gelecek işletme stratejilerinin ekonomik faydalarının seçilebilir tahmin edilmesi için test edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Gelecek altı yıl için barajın Pakistan'a mevcut enerji ve sulama faydasını önceden tahmin edebilmek için projelendirilmiş kot/hacim eğrileri ve sediment modeliyle ilgili çalıştırılacak sonuçlar kullanılmıştır [56].

Abu Hasan ve diğerleri, 2011'de yapmış olduğu çalışmada, Bukit Merah rezervuarındaki sedimantasyonun tahmin edilmesi için 1965-1998 yılları arasındaki verilerden yararlanılarak Dijital Yükselti Modeli ve Üçgen Poligonlara bölen Düzensiz Ağ Modeli kullanmışlardır. Sonuç olarak rezervuar sediment deposundaki ve yatak yüksekliğindeki değişimler elde edilmiş olup boy kesitte delta formu açıkça görülmüştür [57].

Tavengwa Chitata ve diğerleri, 2014 yılında, Mutangi Rezervuarının 2000-2012 yılları arasındaki sedimantasyondan dolayı oluşan kapasite kaybını incelemiştir. 2012 yılından sonraki baraj kapasitesine karar vermek için elle örnek alma, hidrografik araştırmalar ve su derinliği/kapasite yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbirlerine çok yakın olduğu için bu yöntemlerin herhangi birinin kullanılabileceği ispat edilmiştir [58].

Issa ve diğerleri, 2014’de rezervuar bölgesinin iki farklı topoğrafik haritasını kullanarak (1986 ve 2011) Arc/GIS yazılımı yolu ile Mosul Baraj Rezervuarının sediment karakteristiğini değerlendirmiştir. Barajın 25 yıllık işletme süresi sonucunda aktif kapasite hacminden %6,9, ölü kapasite hacminden ise %19,66’lık kayıp meydana gelmiştir. Ayrıca, yapının gelecek depolama kapasite eğrisi tahmin edilmiş ve 2011 yılındaki batimetrik araştırma verileri kullanılarak oluşturulan eğri ile karşılaştırılmıştır [59].

Onüçyıldız ve diğerleri 2014’deki çalışmalarında, DSİ tarafından Altınapa Baraj gölünde 1968, 1974 ve 1979 yıllarında alınmış olan ölçümler sonucu hazırlanan batimetrik haritaları, Arc View 3.2 yazılımı yardımıyla sayısallaştırmış ve elde edilen sayısal haritaları 3-D Analyst ve Spatial Analyst uzantıları yardımıyla analizlere tabi tutmuşlardır. Çalışma sonucunda, her döneme ait sediment birikiminin gözlenebildiği üç boyutlu taban profilleri ve hangi bölgede ne kadar sediment biriktiğini nicel olarak veren sediment dağılım haritaları, geleneksel yöntemlerle de elde edilebilen kot-alan ve kot-hacim değer ve eğrilerine ek olarak elde edilmiştir. Ayrıca, elde edilen bu veriler yardımıyla barajın planlanması aşamasında varsayılan sediment verimi ile gerçekleşen sediment verimi karşılaştırılarak muhtemel faydalı ömür hesaplanmıştır [21].

Abebe 2012’de su kaynakları projelerinin gelişmesi için barajlar ile oluşturulmuş suni göller kullanmıştır. Su yönetimi için önemli olan Koga Rezervuarı özelliklerinden dolayı örnek çalışma olarak seçilmiştir. Bu örnek çalışma için sedimantasyon sürecini simüle etmek adına DELFT3D modeli ve rezervuardaki sediment dağılımının iki veya üç boyutunu göz önünde bulunduran bazı modeller kullanılmıştır. Uzun süreli simülasyon sediment dağılım modeli, mansap sınırındaki sabit ve değişken su seviyeleri için uygulanmıştır. İkinci senaryo baraj işletmesinin gerçek durumunu gösterirken, birinci senaryo sadece sonuçların karşılaştırılması için kullanılmıştır [60].

İnal ve diğerleri, 2015 yılındaki çalışmalarında, Kayseri Sarımsaklı Barajında 1972, 1982 ve 2013 yıllarında oluşturulan hidrografik haritalardan yararlanarak rezervuarda biriken sediment miktarını hesaplamışlardır. Hesaplamalarda NetCAD5.1, Global Mapper ve PDS2000 yazılımlarını kullanmışlardır [4].

Güvel ve diğerleri 2017’de Berdan Barajı rezervuarında biriken tortu malzemelerinin miktarının Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak tahmin edilmesini amaçlamıştır. Bu

kapsamda yapılan çalışmalar sonucunda, Berdan Barajı rezervuarında sediment birikiminin analizi, 1961 yılına ait rezervuar sahası haritası ile 2003 yılında hazırlanmış olan hidrografik haritanın Coğrafi Bilgi Sisteminden yararlanılarak karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir [61].

Wang ve diğerleri, yüzey su kaynaklarının sürdürülebilir gelişimi için rezervuar sedimentasyonu yönetiminin kritik bir öneme sahip olması nedeni ile Çin'de Sarı Nehir üzerine kurulmuş olan Sanmenxia Barajı için şiddetli sedimentasyon problemi üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Rezervuar depolama kapasitesi kayıp oranının alarm vermesi ve kabul edilemez negatif etki nehrin durgun su bölgesindeki sediment birikiminin hızlı genişlemesi ile uyarılmıştır. Baraj yüksek sediment kapasitesini sağlamak için yeniden inşa edilmiştir ve baraj işletmesi sediment giriş çıkış akımları arasında bir denge kurmak için değiştirilmiştir. Sonuç olarak, bazı yararları orijinal tasarıma göre düşük olmasına rağmen baraj hala taşkın kontrolü, sulama ve hidroelektrik jeneratörü özelliklerini sağlayabilmiştir [62].

2.4. WEAP Modeli ile İlgili Çalışmalar

Li ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, Çin'deki üçüncü kıyı kalkınma bölgesi Binhai Yeni Alan (BHYA) için 2020 yılına kadar farklı sosyo-gelişim ve kentleşme senaryoları belirleyerek gelecekteki su durumunu analiz etmiştir. BHYA'daki sınırlı su kaynakları yönetimi stratejilerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için WEAP modelleme sistemi kullanılmıştır. BHYA için diğer iki kalkınma bölgesinin gelişim sürecine dayanan üç senaryo oluşturulmuştur. Bu üç senaryo; kentleşme, endüstriyel yapı düzenlemesi ve su kaynakları tahsisinin politika değişikliği olarak tanımlanmıştır. Sonuçlar, BHYA su kaynakları üzerindeki baskının gelecekte artacağını göstermiştir [63].

Abrishamchi ve diğerleri yaptıkları çalışmada, İran'da bulunan Karkheh Nehri Havzasının memba bölgesinde meydana gelen su ve toprak kaynağı gelişmelerinin mansaptaki içme, endüstriyel ve tarım su kullanımlarına ve Karkheh Rezervuarı giriş akımına etkisini incelemek için WEAP modelini kullanmışlardır. Sonuç olarak, su kaynağı gelişim ve işletme önlemleri: (1) içme suyu ve endüstriyel su talep yönetimi, (2) rezervuar işletmesi, (3) sulama verimliliğinin artırılması, (4) su tahsisi önceliğinin değiştirilmesi, (5) sulama alanlarının genişletilmesi, (6) yer altı suyu çekiminin artırılması olarak belirlenmiştir. Elde

edilen değerler, WEAP modelinin nehir havzası ölçeğindeki su yönetiminde etkili olduğunu göstermiştir [64].

Mourad ve Alshihabi çalışmasında, WEAP modelini 2050 yılına kadar Suriye'de şimdiki ve gelecekteki su talebini ve arzını değerlendirmek için kullanmıştır. Geleneksel olmayan su kaynakları, iklim değişikliği, gelişme, endüstriyel büyüme, bölgesel işbirliği ve yeni su tasarrufu tekniklerinin/cihazlarının uygulanması WEAP modelini kullanarak analize dahil edilmesi gereken önemli faktörler olarak değerlendirilmiştir. Mevcut duruma, iklim değişikliğine, mevcut en iyi teknolojiye, ileri teknolojiye, bölgesel işbirliğine ve bölgesel çatışmaya bağlı olarak altı senaryo değerlendirilmiştir. Sonuçlar karşılanmamış su taleplerini dengelemek için yeni su kaynaklarına hayati ihtiyaç olduğunu göstermiştir [65].

Demertzi ve diğerleri sundukları çalışmada, WEAP modelini, kırsal ve turistik faaliyetlere ek olarak kuraklığın Yunanistan'ın Halkidiki bölgesindeki iki çok amaçlı rezervuarın işletme performansı üzerindeki etkilerini tahmin etmek için kullanmışlardır. 1975-2005 tarihleri arasına dayanan senaryolarda, doluluğun toplam periyodun %85'ini geçtiği ancak özellikle yaz aylarında kısa dönemli (iki yıldan az) kuraklıkların oluştuğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak da yaz aylarında kırsal kesimlerde su talebinin artması ve turizm gösterilmiştir [66].

Hamlat ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, Cezayir'in batısında yer alan havzaların WEAP modeli uygulamalarından birini sunmaktadır. Model, mevcut dengeyi ve gelecekteki su kaynakları yönetimi senaryolarını 2030 yılına kadar talebi etkileyebilecek farklı işletme politikalarını ve faktörleri dikkate alarak değerlendirmek ve analiz etmek için uygulanmıştır. Sonuçlar, ne evsel talebin ne de tarımsal talebin temelde karşılanmadığını göstermiştir. Sonuçlar, aynı zamanda, evsel talebin dikkate alınan senaryolar için karşılanabileceğini de göstermiştir. Ancak, Büyük Sulama Sisteminin Geliştirilmesi senaryoları için tarımsal talep karşılanamamaktadır. Bu doğrultuda, WEAP yazılımının planlayıcılara gelecekteki su kaynakları yönetimi için öneriler geliştirmelerine yardımcı olacak sağlam bir temel sunduğunu da doğrulamıştır [67].

Yılmaz çalışmasında, su kaynağı/talebi oranını, karşılanamayan su talebi miktarını ve sulama suyundaki azalma nedeni ile oluşan mahsul verimindeki düşüşü tespit etmek için, WEAP modelinde, ECHAM5 (European Centre Hamburg Model version 5) genel döngü

modelini ve RegCM3 (Regional Climate Model version 3) bölgesel iklim değışikliğı modelini kullanmıştır. WEAP modeli, su sistemini 2100 yılına kadar Gediz Havzası için öngörülen zaman, sıcaklık, yağış, bitki su tüketimi ve yüzey akışı verileri ile simüle etmeye zorlanmıştır. Modelin çıktıları üç (30 yıllık) dönem boyunca değerlendirilmiş ve her üç gösterge için de iklim değışikliğinin etkilerinin mevcut durumu önemli ölçüde kötüleştireceğı sonucuna varılmıştır [68].

Metobwa ve diğeri yapımış oldukları çalışmada, Mara Nehrindeki aşırı su kaynağı kullanımını farklı strateji ve yöntemlerle önlemek için WEAP modelini kullanmışlardır. Bunun için, havzadaki su kaynağı ve su tüketimi 2010-2045 yılları arasında mevcut ve gelecekteki farklı senaryolarla modellenmiştir. Modeli kalibre etmek için Parametre Tahmin Aracından yararlanılmıştır. Sonuçlar, referans senaryo için su talebinin 4,91 BCM olduğunu, bunun Talep Yönetimi Stratejisi ile 4,1 BCM'ye düşürüldüğünü ve Geliştirilmiş Politika Uygulaması ve TYS ile bu talebin 3,5 BCM'e kadar azaltıldığını göstermiştir [69].

Khalil ve diğeri, Mae Klong Havzası için mevcut su temini ve talep durumlarını değerlendirmek amacıyla WEAP modeli uygulamışlardır. İki SRES senaryosu A2 ve B2 altında havzanın artan taleplere tepkisini değerlendirmek için altı farklı senaryo oluşturulmuştur. Simüle edilen sonuçlar, şu anda havzadaki su kaynaklarının ıslak mevsimde mevcut ihtiyaçları karşılamak için yeterli olduğunu, ancak bu yıllardaki daha az yağış nedeniyle 2014 ve 2015'in kurak dönemlerinde su sıkıntısı oluştuğunu göstermiştir. Sonuçlar ayrıca A2 senaryosunda B2 senaryosuna kıyasla daha fazla su kıtlığının meydana geldiğini göstermiştir. Yeni bir hidroelektrik projesinin önerildiğı altı senaryo, hem A2 hem de B2 senaryoları altında uygulanabilir olarak kabul edilmiş ve havzadaki enerji taleplerinin karşılanmasına yardımcı olabileceğı düşünülmüştür [70].

Kou ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Xiamen Şehri 2015-2050 yılları arasında su kullanımı ve su talebindeki eğilimleri analiz etmek için WEAP modelini kullanmışlardır. Kent bir bütün olarak incelenmeyip beş bölgeye ayrılmıştır. Sonuçlar, Xiamen Şehrinin gelecekte su sıkıntısı yaşayacağını ve 2030 yılından sonra ek su kaynakları bulunmazsa su kıtlığı yaşayacağını göstermiştir. Ancak, endüstrinin yeniden yapılandırılması ve gelişmiş su tasarrufu teknolojisi ile 2050 yılına kadar sırasıyla %6,97 ve %9,82 su tasarrufu sağlanabileceğı öngörülmüştür. İki senaryonun birden adapte edilmesi ile de su tasarrufu

%16,44 olacaktır. Gelecekteki su sıkıntısının önlenmesi için su tasarruf senaryolarının uygulamaya girmesi ve yeni su kaynaklarının bulunması gerektiği belirtilmiştir [71].

Literatürde yer alan çalışmalar değerlendirildiğinde aşağıda sıralanan sonuçlara ulaşılmıştır;

Barajların işletme politikalarını değerlendirmek ve planlamak için standart işletme politikası, korumalı işletme politikası, kural eğrileri, optimizasyon, matematiksel modeller, bilgisayar modelleri, simülasyonlar gibi farklı bir çok yöntemin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu yöntemlerin dışında barajların işletme performansları güvenilirlik, iyileşebilirlik ve barajda meydana gelen eksiklik miktarı gibi farklı kriterler esas alınarak da değerlendirilmiştir.

Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde barajların işletme performanslarına buharlaşmanın önemli ölçüde ve olumsuz etki ettiği görülmüştür. Bu nedenle, rezervuar planlama aşamasında gelecekte herhangi bir su eksikliği ile karşılaşılmasından kaçınılması için buharlaşma etkisinin dikkate alınması kaçınılmazdır. İşletme halindeki mevcut barajlar için de buharlaşmayı azaltmak için fiziksel ve kimyasal bazı yöntemlerin denendiği belirlenmiştir.

Sediment etkisinin rezervuarın bulunduğu bölgedeki zemin özelliği ve bitki örtüsü yapısına göre değişse de her rezervuarın yararlı ömrü için bir tehdit oluşturduğu görülmüştür. Sedimentin olumsuz etkisini azaltabilmek için ilk olarak rezervuara gelen sediment miktarı ve rezervuarda biriken tortu maddesi uzaktan algılama sistemleri, kot-alan-hacim yöntemi ve bazı sediment-akış modelleri kullanılarak tespit edilmiştir. Daha sonra rezervuar işletme planlamasına dahil edilerek yıkama gibi fazladan su salınımı gerektiren mekanik yöntemlerle sediment yükünün azaltılmasına çaba gösterilmiştir.

WEAP modelinin, su kaynaklarının, bulunduğu havzanın, rezervuarların ve su taleplerinin mevcut durumlarının değerlendirilmesinde ve gelecek planlamalarının yapılabilmesinde etkin ve güncel bir model olduğu görülmüştür. Model, rezervuar özelliklerinden, havza toprak ve bitkisi örtüsüne, akış, yağış, buharlaşma ve su talebi gibi birçok önemli kriteri modelleme sırasında etkin olarak kullanmaktadır. Bunun yanında nüfus artışından ve

iklimsel değişikliklerden kaynaklı olarak oluşacak olumlu veya olumsuz etkileri göz önüne alarak gelecek senaryoları oluşturabilmektedir.

Litüratür çalışmaları neticesinde, baraj işletme performanslarının değerlendirilmesinde, daha gerçekçi sonuçlar elde etmek adına hesaplamalara hem buharlaşmanın hem de sediment etkisinin katılması gerektiği görölmüştür. Ayrıca, bu sayede havza özelinde sediment ve buharlaşma etkisinin hangi oranda olduğu da hesaplanmıştır. Çalışmalar esnasında, literatür incelemesinde de göröldüğü gibi baraj işletme performansı değerlendirmesinde etkili olarak kullanılan standart işletme politikası, davranış analizi ve WEAP modeli kullanılmıştır.



3. TEMEL KURAMLAR

3.1. Barajlar

Barajlar, genellikle bir nehir vadisinin iki yakasına inşa edilen, büyük miktarda su biriktirmek veya bir rezervuar oluşturmak için tasarlanan yapılardır [72]. Tüm ülkeler, evsel ve endüstriyel su temini veya sulama amacıyla su sağlamak için nehirlerine ve göllerine güvenirlir. Bu nedenle, yılın her döneminde su kaynaklarında yeterli suyun bulunması önemlidir. Yüzey suyu seviyesi yağış ve kar erimesine bağlı olduğu için mevsimsellik yüzey suyu bulunabilirliğinde belirleyici bir faktördür. Aslında, yıl içinde nehir akışının yüksek ve muhtemelen mansaptaki su talebinden daha fazla olduğu dönemler vardır. Diğer yandan, düşük yağış dönemlerinde, nehir akışı çok düşük olabilir ve bu da su kıtlığına neden olabilmektedir. Barajların inşası, rezervuarda fazla su akışı depolayarak ve akış düşük ve/veya tam talebi karşılamak için yetersiz olduğunda serbest bırakarak mevsimsellik yönetimine izin verir. Bununla birlikte, genel olarak, bir barajın inşaat maliyetinin haklılığını ortaya çıkarmak için birçok farklı amacı vardır [73]:

- Taşkın kontrolü: Rezervuarda taşkın depolama hacmi sağlayarak, çıkış akımı hidrografının tepe noktasını yavaş bir şekilde zayıflatılır;
- Su kaynağı;
- Sulama;
- Su kalitesinin iyileştirilmesi: Rezervuarlar uzun süreli su tutma süreleri nedeniyle çoğu çökebilir kirlenici malzemenin çıkarılmasını sağlar. Buna ek olarak, depolanan suyun nehrin mansabındaki kanallara verilmesi dilüsyonu artırır ve nehrin kendi kendini temizlemesine yardımcı olur.

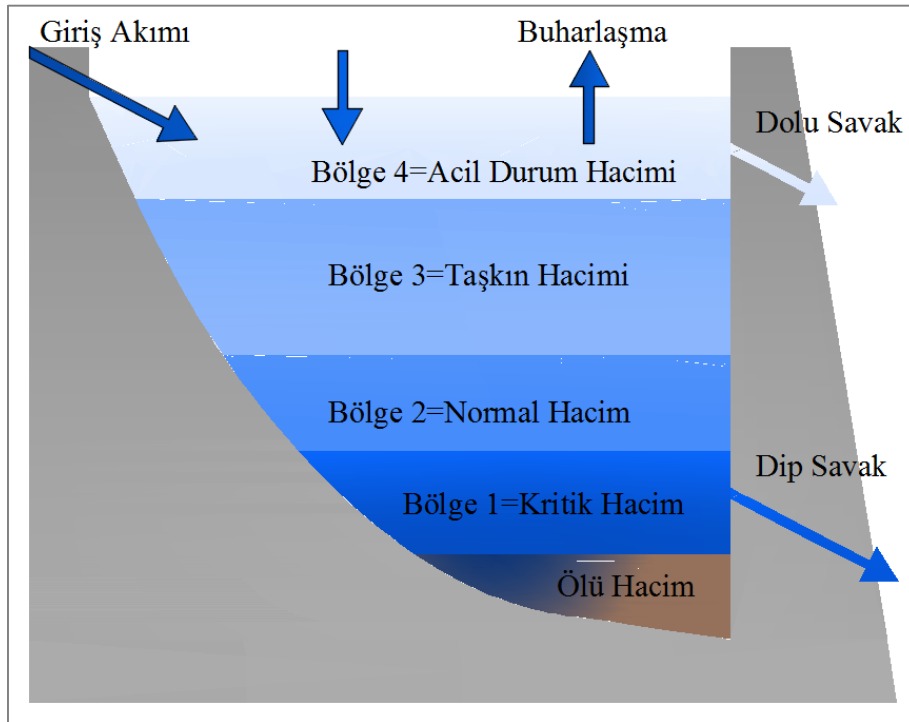
Yukarıdaki amaçların dışında barajlara yıllar boyunca kamuya yönelik veya biyolojik çeşitliliği geliştirmek için çeşitli kullanım amaçları eklenmiştir:

- Hidroelektrik enerji üretimi;
- Navigasyon;
- Dinlenme ile ilgili faydalar: yüzme alanı, denizsel faaliyetler...
- Balık üretimini ve yaban hayatı geliştirmek.

3.2. Rezervuar Hacmi Bölgeleri

Rezervuarda depolanan su genellikle Şekil 3.1’de gösterildiği gibi en az dört aktif bölgeye ayrılır:

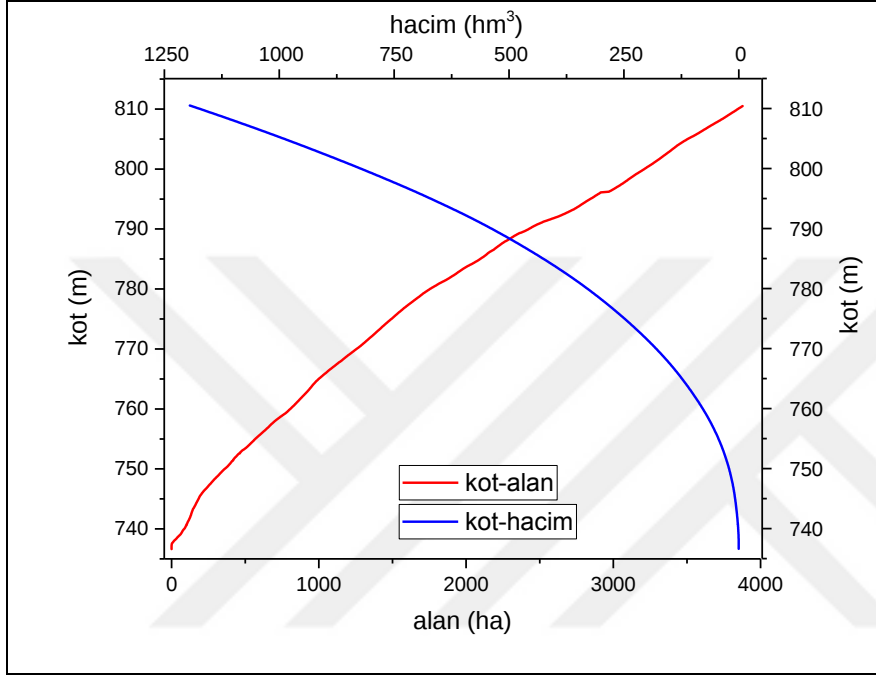
- Ölü hacim: Rezervuarın altındaki, tahliye için uygun olmayan suyu çevreleyen ve yüksek bir tortu konsantrasyonu içeren bölgeye verilen addır. Rezervuarda çok fazla çökelti olmasını önlemek için su düzenli olarak boşaltılmalıdır;
- Aktif hacim (Normal hacim+Kritik hacim): Su talebini karşılamak için, suyun barajın ana çıkışından bırakıldığı bölgedir; aktif hacmin minimum su seviyesi veya kritik bölge olarak adlandırılan su hacmi sadece aşırı kuraklık dönemlerinde su kaynağı olarak kullanılır;
- Taşkın kontrol hacmi: Sağanak yağış dönemlerinde bir miktar suyu rezervuarda tutarak amacına hizmet eder ve mansap bölgesinde sel riskini en aza indirir;
- Ek kapasite (Acil durum hacmi): Rezervuarın tutabileceği maksimum su hacmidir. Su seviyesi bu noktaya ulaştığında, hala suyun rezervuardan bırakılması kontrol edilebiliyorken, su acil olarak dolu savaktan boşaltılmalıdır.



Şekil 3.1. Rezervuar hacmi bölgeleri [74]

3.2.1. Kot-alan-hacim eğrileri

Rezervuarın su seviyesi, suyun yüzey alanı ve depolama hacmi arasındaki ilişki, rezervuarların işletme performansları için çok önemlidir. Şekil 3.2, Almus Rezervuarının kot-alan-hacim ilişkisini göstermektedir.



Şekil 3.2. Almus rezervuarı kot-alan-hacim eğrisi

Karadan gelen sıcak ve kuru hava nedeniyle rezervuar su yüzeyinde meydana gelen buharlaşma miktarı küçük ve sığ bir rezervuarda, büyük ve derin bir rezervuara göre daha fazladır [46]. Bu nedenle, bir rezervuar alanı için derin ve dar bir vadinin seçilmesi buharlaşma yoluyla su kaybını en aza indirmede büyük bir rol oynayabilir [75]. Buharlaşma kaybı özellikle tropikal bölgelerde önemlidir. Çünkü, buharlaşma rezervuarın su talebini karşılama becerisini engelleyecek kadar büyük olabilir. Rezervuarın tasarım aşamasında küçük ölçekli bir tasarım yapmaktan kaçınmak için buharlaşmanın planlama analizlerine dahil edilmesi gerekmektedir [76]. Rezervuar su yüzeyinden hacimsel buharlaşmanın hesaplanabilmesi için de öncelikle kot-alan-hacim verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

3.3. Rezervuar Karakteristikleri

Depolama hacmi, (K_t): Belirli zaman aralığında rezervuarda depolanan ve mansaptaki farklı su taleplerini karşılamak için kullanılan su hacmine karşılık gelir. Depolama hacmi Bölüm 3.1’de tanımlanan rezervuarın aktif hacmi anlamına gelir. Rezervuarın durumunu herhangi bir t anında tanımlamak için kullanılır. Depolama hacmi rezervuarın ölü hacminden maksimum hacmine kadar olan bölgede değişim gösterebilir.

Verim: Bir rezervuar sistemini oluşturan kontrollü su salınımıdır ve genellikle rezervuara giren ortalama yıllık akımın yüzdesi olarak ifade edilir. Örneğin, verim %70 ise rezervuara giren yıllık akımın %70’inin rezervuardan serbest bırakıldığı anlamına gelir. Eğer rezervuar dolu kapasitesinin üzerindeyse, çıkış akımı kontrolsüzdür ve boşaltma (savaklama) olarak adlandırılır.

Su talebi, Hedef su talebi (D_t): Bir su talebi merkezinin ihtiyaç duyduğu su miktarıdır (sulama alanı veya içme suyu temini). Genellikle bu terim, depolama-verim-performans analizlerinde kullanılır; tedarik edilen mevcut suyun miktarı bir güvenlik ve güvenilirlik seviyesi verir. Su talebi %90’a kadar yükselebilir ve buharlaşma kayıplarına, baraj bölgesindeki fiziksel şartlara bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

Giriş akımı (Q_t): Giriş akımı, t zaman aralığında rezervuara gelen suyun toplamına karşılık gelir. Ana giriş akımı havza çıkışındaki akımdır ve rezervuardaki doğrudan yağış, havzalar arası bağlantılar ve membadaki potansiyel rezervuar veya rezervuar gruplarından gelecek akımlar da hesaba katılmalıdır.

Kritik periyot: Alexander’ın (1962) tanımına göre, kritik periyot; tam dolu rezervuar koşulundan rezervuarın boşalmasına kadar olan dönemi ifade etmektedir [77]. Bir rezervuarı boyutlandırırken, tekniklerin çoğu kritik periyota dayanır, çünkü ek su ihtiyacı sadece talebin karşılanamadığı kritik bir dönemde gereklidir [78]. Yıl içi karakteristiğine sahip rezervuarlar için en uzun kritik dönem 12 aydır ve yıl boyu karakteristiğine sahip rezervuarlar için en uzun kritik dönem 12 aydan uzundur.

Yıl içi ve yıllık rezervuar: Bir rezervuar, giriş akımı ve boşalma koşullarına göre yıl içi veya yıllık rezervuar olarak kabul edilebilir. Yıl içindeki bir rezervuar, yılda en az bir kez

boşalan bir rezervuar iken, bir yıllık rezervuar, bir yıl boyunca depolanan suyun bir kısmının sonraki yıllara taşındığı ve kullanıldığı bir rezervuardır. Bu durumda boşalma her birkaç yılda bir gerçekleşir. Rezervuarın yıl içi mi yoksa yıllık mı dikkate alınacağını değerlendirmek için hızlı bir prosedür; yıllık akım varyasyon katsayısı C_v ve net giriş akımı parametresi m 'nin hesaplanmasıdır. Bununla birlikte, Montaseri ve Adey (1999) tarafından önerildiği gibi, sadece m değerine güvenmek, rezervuar su depolama verimi sorununun diğer parametrelerini dikkate almadığından dolayı gerçek durumu temsil etmek için yeterli değildir [79]. Bu kapsamda, bunun yerine kritik döneme ilişkin bir tahmin yöntemi kullanılmasını tavsiye ederler.

C_v , aşağıdaki eşitlikte belirtildiği gibi standart sapma ile ortalama yıllık akış arasındaki oran olarak tanımlanır:

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (3.1)$$

μ ortalama yıllık akış ve σ aşağıdaki standart sapmadır:

$$\sigma = \sqrt{\left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (Q_i - \mu)^2 \right]} \quad (3.2)$$

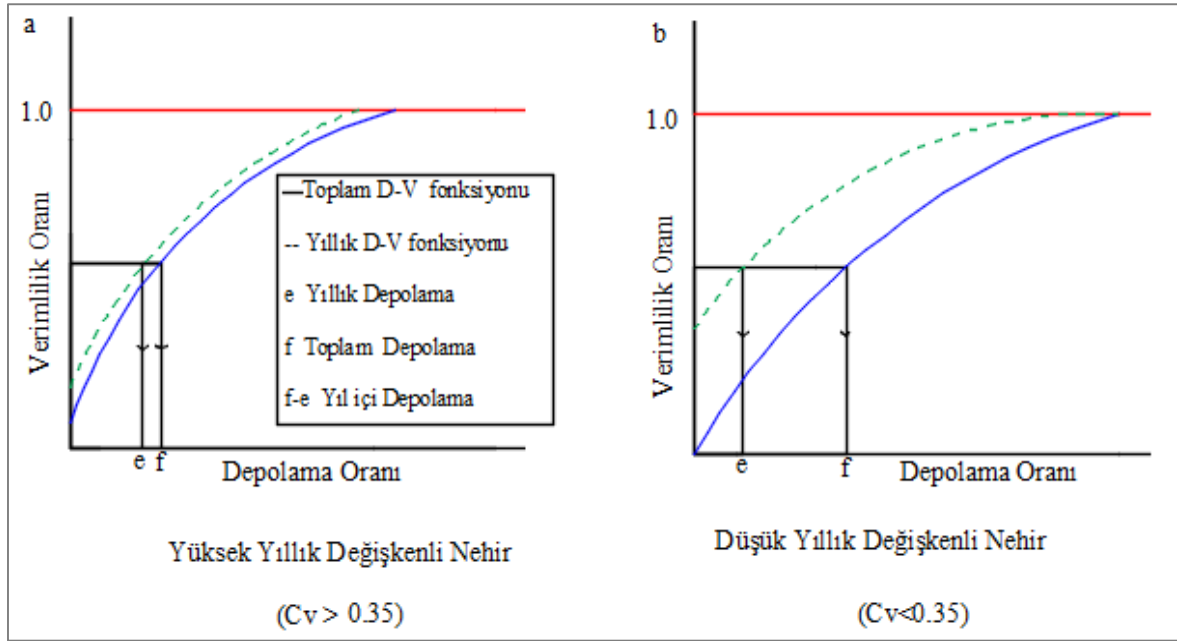
N akış veri sayısını, Q_i i -th değişkeninin akışı ve μ yıllık ortalama akışı göstermektedir.

Net giriş akımı parametresi aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$m = \frac{1-\alpha}{C_v} \quad (3.3)$$

D yıllık ortalama su talebi olmakla birlikte α , $\left(\alpha = \frac{D}{\mu} \right)$ denkleminden elde edilmektedir.

C_v değerine bağlı olarak, bir yıl içi ve yıllık su depolama arasındaki fark, bir rezervuarın su depolama verimliliği eğrisinde gözlenebilir (Bkz. Şekil 3.3). C_v değeri düşük olduğunda (<0.35), kuru mevsimlerde talebi tam olarak karşılamak için ek bir su depolamasına (yıl içinde depolama) ihtiyaç duyduğu anlamına gelir. Aksine, bir nehrin değişim katsayısı yüksek olduğunda (>0.35), ihmal edilebilecek küçük bir yıl içi depolamaya ihtiyaç duyulabilir ve rezervuardaki su bir yıl boyunca depolanır.



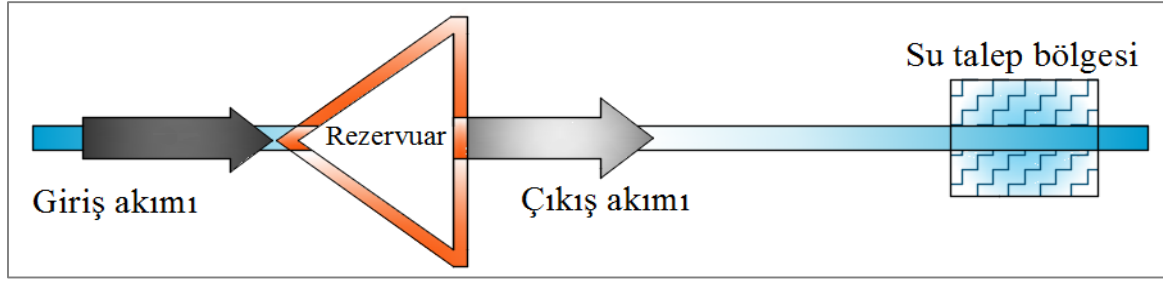
Şekil 3.3. Yıllık akış değişkenliğinin etkisini vurgulayan bir rezervuar depolama verimliliği fonksiyonunun şematik gösterimi [78]

3.3.1. Rezervuarların sınıflandırılması

Genel olarak iki tip rezervuar sistemi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, tekil rezervuar sistemi, ikincisi ise çoklu rezervuar sistemleridir. Bu iki sistem de tek amaçlı veya çok amaçlı su kaynağı olarak işlev görebilir. Sadece sulama için tek amaçlı bir hazne tasarlanabileceği gibi, içme ve endüstriyel su ihtiyacı, taşkın, hidroelektrik enerji ve ekosistemi geliştirmek gibi birden fazla amaca hizmet eden haznelerde tasarlanabilir.

Tekil rezervuar sistemi

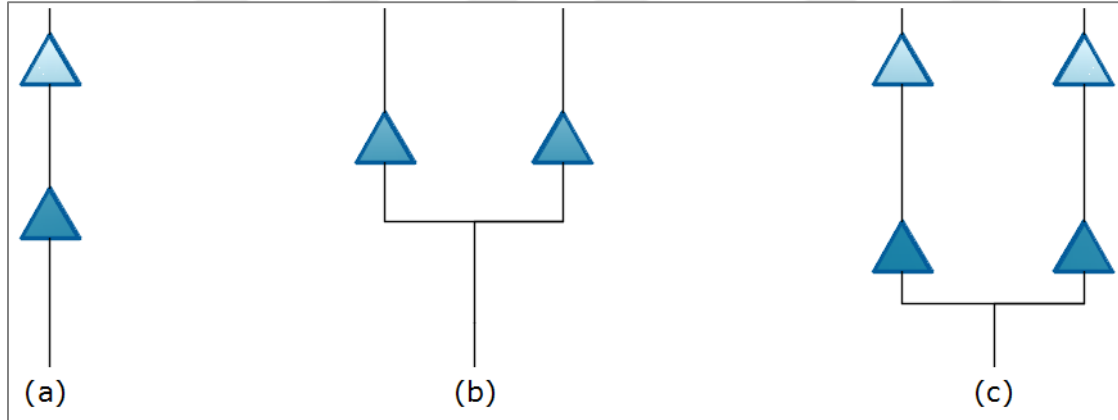
Belirli bir su talebini karşılamak amacıyla bağımsız olarak çalışan rezervuara, tekil rezervuar sistemi denir. Tekil rezervuar sisteminin şematik olarak gösterimi Şekil 3.4'de verilmiştir [80]. Tekil rezervuarlar için bulgusal işletme politikası olarak paket kuralı, standart işletme politikası, kural eğrileri ve koruma kuralları uygulanabilmektedir.



Şekil 3.4. Tekil rezervuar sisteminin şematik gösterimi

Çoklu rezervuar sistemi

Bir veya birden fazla amaç için birlikte çalışan rezervuarlara, çoklu rezervuar sistemleri denir. Böyle bir sistem seri halde, paralel halde veya hem seri hem de paralel halde çalışan bir kombinasyona sahip olabilir. Bu üç farklı sistemin şematik gösterimi Şekil 3.5’de verilmiştir. Önemli su depolama potansiyelleri nedeniyle genellikle akarsu havzaları çoklu rezervuar sistemleri ile yönetilmektedir. Beklenildiği gibi çoklu rezervuar sistemlerinin işletme ve planlama analizleri, tekli rezervuar sistemlerine göre daha karmaşıktır [81].



Şekil 3.5. (a) Seri, (b) Paralel, (c) Hem seri hem de paralel rezervuar sistemlerinin şematik gösterimi [82]

3.4. Rezervuar İşletme Performansı Analizi

Rezervuarların olası performansını, özellikle sistemin çalışma ömrü boyunca oluşması beklenen hidrolojik koşullar ve farklı su talepleri altında karakterize etmek gerekmektedir. Bir rezervuar, tüm zaman dilimlerinde su talebini karşılarsa tatmin edici bir performans göstermiş olur. Aksi takdirde, bir performans problemi olduğu anlamına gelir.

Rezervuarların performansını değerlendirmek için performans kriterlerine bakılmalıdır [82]:

- Güvenilirlik (zamana ve hacme bağlı): Rezervuar performansını karakterize eden başlıca performans indisidir.
- Maksimum eksiklik: Bu indis simülasyon sırasında suyun maksimum periyodik eksikliğini değerlendirir.
- İyileşebilirlik: Bir rezervuar kapasitesinin eksiklik periyodundan kurtulma süresidir.

Burada (Loucks, 1997) tarafından tanımlanan başka bir performans indisi değerlendirilecektir [83]:

- Sürdürülebilirlik.

Güvenilirlik: Güvenilirlik, bir rezervuarın performansını tanımlayan ve sistemin hedeflenen su talebini karşılama olasılığını gösteren ana terimdir. Güvenilirlik iki farklı türde incelenebilmektedir: Zamana bağlı güvenilirlik ve hacme bağlı güvenilirlik.

Zamana bağlı güvenilirlik: Rezervuarın susuzluk haricinde su ihtiyacını karşılayabildiği zamanın, toplam zaman periyoduna oranı ile ifade edilir.

$$R_t = \frac{N_s}{N} \quad (3.4)$$

N_s su talebinin karşılandığı zaman periyodunu açıklar ve N dikkate alınan toplam zaman periyodudur. Yıllık veriler için N_s başarılı yıl sayısı, N simülasyondaki toplam yıl sayısıdır. Bu durumda, güvenilirliğe, belirli bir yılda belirli bir verime ulaşmanın ortalama olasılığı olan oluşum tabanlı güvenilirlik denir. Oluşuma dayalı güvenilirlik, bir su eksikliğinin yaşandığı ay olduğunda, su eksikliğinin olduğu ay sayısına bakılmaksızın yılın tamamının bir başarısızlık yılı olarak kabul edildiğini ifade eder. Bu nedenle, oluşuma dayalı güvenilirlik genellikle başarılı ayların sayısını ve dolayısıyla güvenilirliği hafife alır ve genellikle aylık zamana dayalı güvenilirlikten farklılık gösterir (12 ayın tümü başarısız olduğunda hariç).

Güvenilirlikle bağlantılı olarak, F sıklık frekansı terimi:

$$F = \frac{N - N_s}{N} = 1 - R_t \quad (3.5)$$

Su eksikliği frekansının kullanımı kolaydır, ancak eksikliğin şiddetini ve büyüklüğünü hesaba katmaz. Eksikliklerin büyüklüğü ile ilgili performans göstergeleri, hacme dayalı güvenilirlik ve hacimsel maksimum eksiklik miktarıdır.

Hacme bağlı güvenilirlik: Hacme bağlı güvenilirlik, gerçekte tedarik edilen toplam su miktarının, tüm simülasyon süresi boyunca talep edilen toplam su miktarına bölünmesiyle hesaplanabilir.

$$R_v = \frac{\sum_{t=1}^N D'_t}{\sum_{t=1}^N D_t} \quad (3.6)$$

R_v hacimsel güvenilirlik olarak tanımlandığında, f su eksikliği periyotlarının sayısıdır ($= N - N_s$), D'_t t^{th} su eksikliği döneminde rezervuar sisteminden gelen gerçek su talebi, D_t t^{th} periyodundaki hedeflenen su talebidir ve N simülasyondaki toplam dönem sayısıdır.

İyileşebilirlik: Hashimoto ve diğerlerinin, 1982 yılındaki tanımı en çok kullanılan tanımdır ve iyileşebilirliği, rezervuarın bir su eksikliğinden kurtulma olasılığı olarak tanımlar [32]:

$$\varphi = \frac{1}{\frac{f_s}{f_d}} = \frac{f_d}{f_s}; 0 \leq \varphi \leq 1 \quad (3.7)$$

φ iyileşebilirlik olarak kabul edildiğinde, f_s sürekli ardışık su eksikliği periyotları dizilerinin sayısı ve f_d su eksikliğinin olduğu toplam süredir. Düşük iyileşebilirlik değeri, rezervuarın bir su eksikliğinden kurtulmasının daha zor olacağı anlamına gelmektedir.

McMahon ve diğerleri, 2006 yılında iyileşebilirliği tahmin etmenin ikinci bir yolunu önermişlerdir [84].

$$\varphi = \frac{\widetilde{D}'}{D} \quad (3.8)$$

$\widetilde{D}'$ rezervuardan bırakılan minimum su miktarını, D ise bırakılan su miktarını (su talebini) temsil etmektedir.

Maksimum su eksikliği: Devamlı başarısızlık dönemlerinin her birinde meydana gelen maksimum eksikliklerin ortalamasıdır [32]:

$$\eta' = \frac{\sum_{k=1}^{f_s} \max(D_t - D'_t)_{t \in k}}{f_s} \quad (3.9)$$

Boyutsuz maksimum su eksikliği miktarı, eksikliği değerlendirmenin daha kullanışlı bir formudur ve aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\eta = \frac{\eta'}{D} \quad (3.10)$$

(McMahon ve diğerleri, 2006) iyileşebilirliğin ve boyutsuz su eksikliğin tamamlayıcı olduğunu bulmuştur [84]:

$$\varphi \cong 1 - \eta \quad (3.11)$$

Sürdürülebilirlik: Loucks (1997), rezervuarda tasarlanan işletme performansının sürdürülebilirliğini tanımlamak için önceki üç performans kriteri güvenilirlik, iyileşebilirlik ve boyutsuz maksimum su eksikliği indislerini birleştirmiştir [83]:

$$\lambda = R_t \varphi (1 - \eta) \quad (3.12)$$

Bu denklemde λ sürdürülebilirliği temsil etmektedir.

Sürdürülebilirlik, daha sonra açıklanacak olan Simonovic ve ark. (1997) ve Sandoval-Soils ve diğ. (2011) tarafından önerilen iki farklı yöntemle de değerlendirilebilmektedir [85-86].

Sürdürülebilirliği değerlendirmek için Simonovic ve ark. tarafından önerilen ikinci bir yöntem, dört farklı kriteri içermektedir: eşitlik, geri dönüşebilirlik, risk ve etkileşim (uzlaşma).

Eşitlik: Büyük ölçekli rezervuar projelerinin alternatiflerinin seçiminde önemli bir etkidir. Toplumun refahını sağlamak, tüm paydaşlar tarafından proje kabulünü sağlamak kadar önemlidir. Zamansal ve zamanlar arası eşitlik ölçülerindeki sonuçlar bir sayıda süreye dayalı yaklaşımda kullanılmıştır [87].

Bunlar; kalite, ihtiyaç veya orantılılığa ayrılmışlardır.

Genel eşitlik, ihtiyaca dayalı eşitlik hedeflerinin, denklik ve eşitliğin kombinasyonu olarak yorumlanabilir.

Geri dönebilirlik: Fanai ve Burn tanımından (1997), geri dönebilirlik; bir rezervuarın toplam öngörülen ve öngörülemeyen etkilerinin azaltılabilme derecesinin bir ölçüsüdür [88].

Fanai ve Burn (1997) tarafından bir projenin geri dönebilirliğini değerlendirmek için bir çerçeve oluşturulmuştur [89]:

- Etkilerin belirlenmesi ve kategorize edilmesi;
- Gerekirse etkilerin sınıflandırılması;
- Her bir etkiyi ölçmek amacıyla ölçü birimlerinin belirlenmesi;
- Her etki için ağırlıkların belirlenmesi;
- Geri dönebilirlik indeksleri elde etmek için bir formül uygulamak.

Risk: Bir rezervuarla ilişkili olumsuz sosyal, çevresel veya ekonomik etkiler olasılığı olduğunda, bu bir risk var anlamına gelmektedir. Risk; olumsuz bir sonucun büyüklüğünü ve bu sonucun ortaya çıkma olasılığının ürünü olarak tanımlanabilir [85]. Kroeger ve Simonovic (1997) tarafından riski değerlendirmek için bir algoritma oluşturulmuştur. Algoritma aşağıdaki aşamaları içerir [89]:

- Analizle ilgili risklerin belirlenmesi;
- Her alternatif için ortaya çıkan risklerin her birinin olasılığını tahmin etmek;
- Her bir paydaş grubu için risk büyüklüğünün hesaplanması;
- Riski her bir alternatif ve her bir paydaş grubu için ayrı ayrı tahmin etmek;
- Paydaşların risk tahminlerini birleştirerek alternatiflerin karşılaştırılması;
- Gelecekteki ortak risk tahminlerini analiz etmek.

Etkileşim (uzlaşma): Ölçüm birimleri olmadığından, muhtemelen değerlendirilmesi en zor kriterdir. Gerçekten de, görünüşte genel bir anlaşma ve dolayısıyla bir uzlaşma anlamına

gelir. Nitel ve öznel görüşlere dayanır ve bu görüşler birleştikten sonra bir uzlaşmanın var olduğu söylenir.

Daha yakın zamanda, Sandoval-Soils ve ark. (2011) önceki üç dizini; biri zamana bağlı güvenilirliği, diğeri de hacme bağlı güvenilirliği kullanarak iki denkleme entegre etmiştir [86]:

$$\lambda_1 = R_t \varphi (1 - \eta)^{1/3} \quad (3.13)$$

$$\lambda_2 = R_v \varphi (1 - \eta)^{1/3} \quad (3.14)$$

Temel fark, hacimsel güvenilirliğin tanım gereği su kıtlığından etkilenme olasılığının daha düşük olmasıdır. Bu nedenle, ikinci denklemin kullanılması durumun daha geniş açıdan incelenmesine imkan verir.

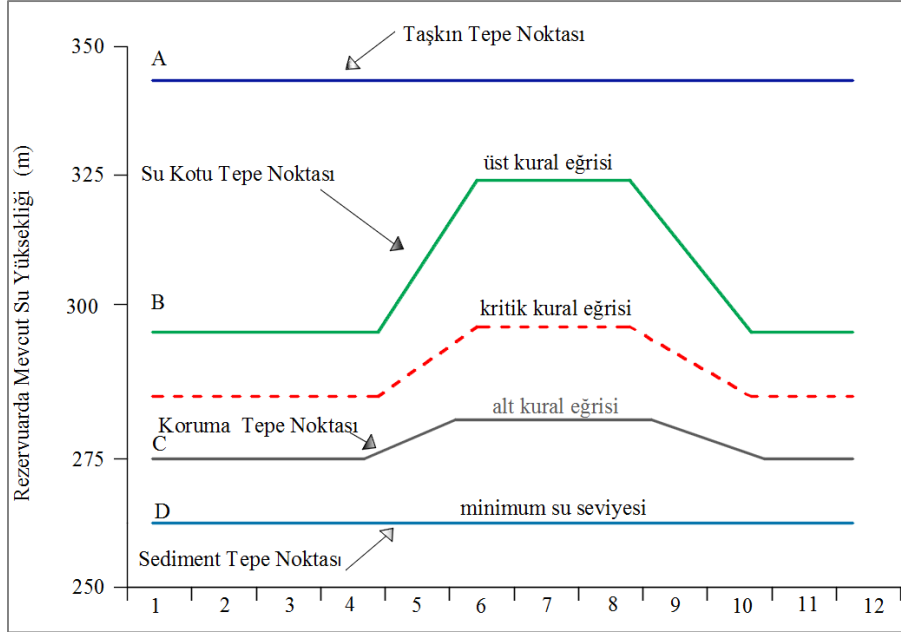
3.5. Rezervuar İşletme Politikaları ve Kural Eğrileri

Baraj işletme politikalarının amacı, ideal koşullardan herhangi bir sapma durumunda, sistemdeki tüm su kullanıcılarının toplam sıkıntılarını minimize ederek, oluşan durum kurallar çerçevesindeymiş gibi onların su taleplerini karşılamaktır [90]. Bir baraj işletme politikasının iki bileşeni vardır: kural eğrileri ve rezervuar işletme politikası.

3.5.1. Kural eğrileri

Kural eğrileri, her ay (veya yıllık periyot) için bir rezervuardaki ideal depolama seviyelerini tanımlar. Rezervuardaki su depolama seviyesine göre, suyun rezervuardan serbest bırakılma oranı arttırılabilir veya azaltılabilir: eğer depolama seviyesi eğrinin üzerindeyse, suyun serbest bırakılması arttırılabilir, depolama seviyesinin eğrinin altında olduğu durumlarda ise serbest bırakma azaltılmalıdır. Kural eğrisinde ölü hacim ve maksimum hacim olmak üzere iki uç seviye vardır. Rezervuarın depolama seviyesi ölü hacimdeyse, rezervuarın tamamen boş kalma olasılığından dolayı sonuçlar çok kritik olabilir. Bu senaryodan kaçınmak için eğilim, riskten korunma olarak bilinen talepten daha az arz etmektir. Bu yöntem, koruma havuzuna geri dönmek için rezervuarın boşaltılmasını tersine çevirmeyi amaçlamaktadır. Depolama seviyesi maksimum seviyeye ulaşırsa, talep

edilen sudan daha fazlasını tedarik etse bile, suyu rezervuardan serbest bırakmanın artırılması gerektiği anlamına gelir. Rezervuarın depolama seviyelerini daha kesin olarak ayırtırmak için kural eğrileri geliştirilmiştir. Bu kural eğrilerine korunmaya entegre kural eğrileri denir ve Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



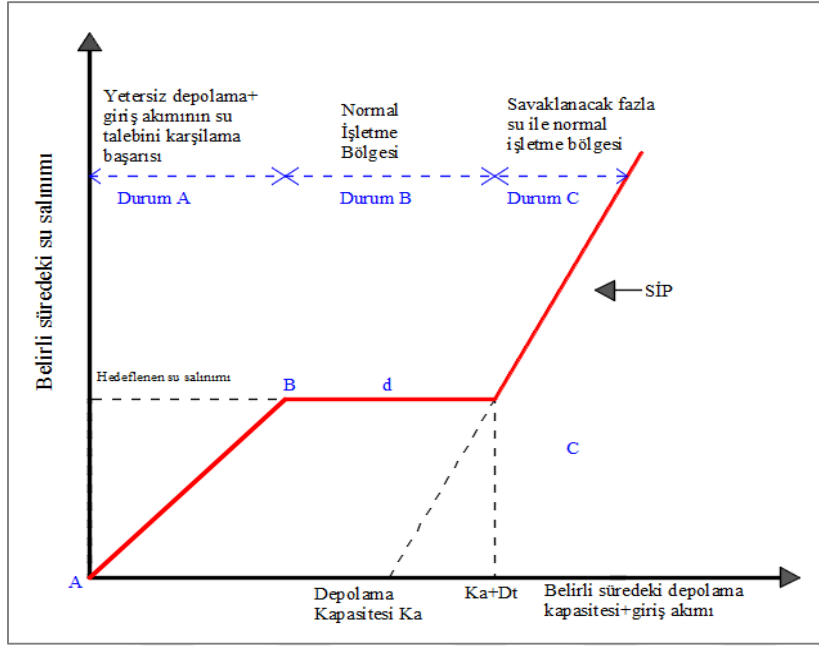
Şekil 3.6. Rezervuar işletmesi için kural eğrilerinin şematik gösterimi [91]

3.5.2. İşletme prosedürü (kuralı) veya politikası

Çalışma prosedürü (kural) veya politikası: rezervuar hacmi kural eğrisi tarafından tanımlanır ve rezervuardaki su seviyesinin ideal su seviyenin altına düştüğünde uygulanacak önlemleri tanımlar. İşletme politikası, rezervuardan su salınımının ne kadar azaltılması gerektiğini belirler. Öngörülen giriş akımı ve mevcut depolanan su seviyesine bağlıdır.

3.5.3. Standart işletme politikası (SİP)

Rezervuarda yeterli su olduğunda talebi karşılamaktan ibarettir. Aksi takdirde mevcut suyun tamamı verilir ve rezervuar boş bırakılır [92]. Davranış simülasyonuna dayalı olarak tek rezervuarın analizini planlarken çok yararlıdır. Ancak, rezervuara gelecek giriş akımının belirsizliğinden dolayı, aktif hacmin tamamen kullanılması bu işletme politikasının dezavantajı olarak gösterilebilir (Bkz. Şekil 3.7).

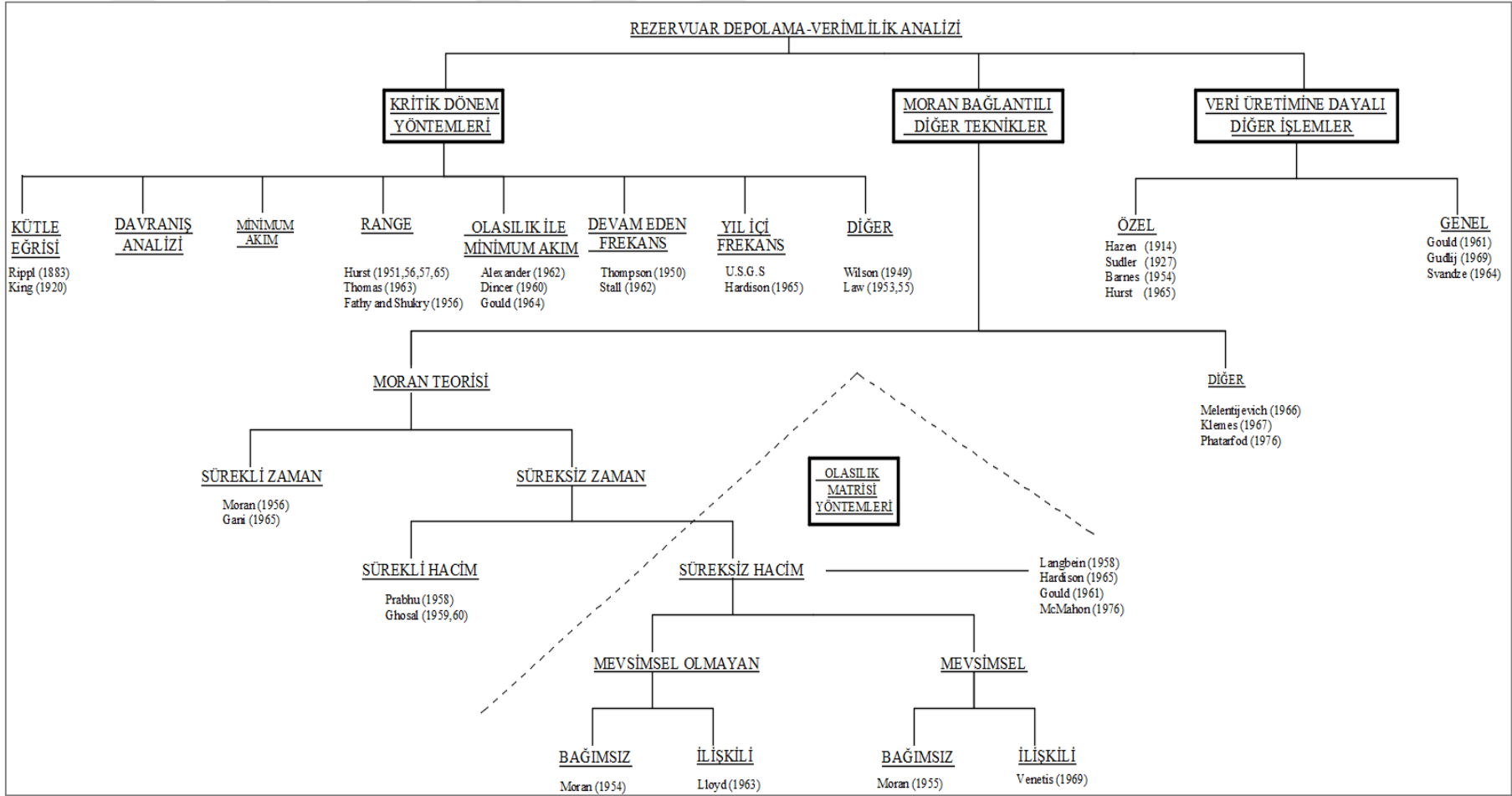


Şekil 3.7. Standart işletme politikasının (SİP) şematik gösterimi [37]

3.6. Depolama Verimliliği Performans Analizi Yöntemleri

Kapasite verim yöntemleri McMahon ve Mein (1986) tarafından önerildiği gibi üç farklı gruba ayrılmıştır: birinci grup rezervuar depolama kapasitesini hesaplamak için su talebinin giriş akımını aştığı duruma karşılık gelen akım verilerine sahip kritik periyot yaklaşımını kapsar. İkinci grup, Moran'ın baraj teorisine dayanan ve olasılık matrisi içeren yöntemleri içerir. Son olarak üçüncü grup, ortaya çıkan verileri kullanan yöntemlere karşılık gelmektedir. Bu üç grubun kısa ve çok kapsamlı olmayan açıklaması aşağıda verilmiştir ve Şekil 3.8'de özetlenmiştir [93].

Şekil 3.8. Kapasite verimlilik işlemlerinin teorik olarak sınıflandırılması



3.6.1. Kritik dönem yöntemleri

Bir rezervuar giriş akımı dizisindeki kritik dönem kavramı daha önce Bölüm 3.2’de açıklanmıştır. Rezervuar kapasitesi tahmini için kritik dönem yöntemleri, gerekli depolamanın, kritik bir periyot boyunca rezervuardan çıkan akım ile rezervuara giren akım arasındaki maksimum farka eşit olduğunu varsayan süreklilik denkleminde dayanır. Bu yöntemlerle ilgili ana sorunlar McMahon ve Adeloye (2005) tarafından belirtilmiştir ve aşağıdaki gibidir [82]:

- Gerekli depolamanın temeli olarak en düşük tarihsel akım dizisini kullanan prosedürler için (Rippl, 1883; Waite, 1945), tahmini depolama büyüklüğü akım dizisinin uzunluğuna bağlı olacaktır [94-95];
- Diğer bazı yöntemler için (Rippl, 1883; Alexander, 1962; Gould, 1964; Dinçer (Teoh ve McMahon, 1982)) çıkış akımı sabit kabul edilmelidir, ki bu gerçekçi değildir [93;77;96-97];
- Yöntemler en kötü tarihi kritik döneme dayandığı için, gelecekteki kritik bir dönemin geçmişte olanlardan daha şiddetli olup olmayacağı ve rezervuarın güvenilirliği hakkında bilgi veremez.

Bu sorunlara rağmen, bazı kritik dönem yöntemleri uygun depolama kapasitesi verimliliği yöntemleri olarak kabul edilir, örneğin; Sıralı Tepeler Algoritması (STA) [98], Gould's Gamma Metodu (1964), Bayazit ve Bulu (1991) tarafından genelleştirilen Vogel ve Stedinger (1987) yöntemi ve Davranış Analizi yöntemi [96;99-100].

3.5.2. Moran ve olasılık matrisi yöntemleri

Olasılık matrisi yöntemleri, Moran'ın depolama teorisinin (1959) bir gelişimidir [92]. Bu yöntemler için, rezervuar depolama kapasitesi her zaman giriş ve çıkış akımı verileri dikkate alınarak ve bir integral denklem kullanılarak belirlenecektir. Mühendislik açısından Gould (1961), bu yöntemi genel olarak uygulanabilir ve dolayısıyla mühendisler tarafından doğrudan kullanılabilir hale getirmek için Moran'ın yaklaşımını değiştirmiştir [101]. Bu yöntemde Gould'un Dönüşüm Olasılık Matrisi (DOM) yöntemi denir. Aslında, diğerleri ya analitik olarak zorlu değildir ya da gerçekçi olmayan varsayımlara dayanırlar [82].

3.7. Rezervuar Sistemi Simülasyon Modelleri

Simülasyon, mevcut veya önerilen bir rezervuar sisteminin davranışını modelleme işlemidir. Rezervuar simülasyonu, rezervuar kütle denge denklemine dayanmaktadır. Simülasyon, önerilen yönetim planlarının etkilerini analiz etmek için kullanılır: sistem performansına ilişkin başarı, seçilen karar kümelerine göre değerlendirilir. Tanım olarak, simülasyon yöntemi, belirli bir karar kombinasyonunun en uygun olanı temsil ettiğini iddia etmez. Bu yaklaşımın doğasında var olan zorluk, kontrol edilmesi gereken çok sayıda uygulanabilir operasyon planıdır (karar kombinasyonları). Eğer tek başına simülasyon kullanılmışsa, “en iyi” çözüm arayışı sadece problem yaratan olmakla kalmaz, aynı zamanda optimal çözümden uzak alternatiflere de yol açabilir [102]. Rezervuar sistemi simülasyon modelleri, hiçbir resmi matematiksel programlama (örn. Doğrusal programlama, dinamik programlama ve doğrusal olmayan programlama) yöntemi kullanmayan geleneksel simülasyon modelleridir.

Su kaynaklarının simülasyonunda model kullananların ihtiyaçlarını karşılamak için farklı yazılım araçları geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi ABD Ordusu Mühendisler Birliği tarafından çok amaçlı simülasyon yapmak için geliştirilen HEC-3 (Koruma model için rezervuar sistem analizi) modelidir. HEC-3 su temini, düşük akış güçlendirme ve hidroelektrik enerji gibi koruma amaçlı çalışan bir rezervuar sistemini simüle eder [103]. HEC-3’ün daha sonraki yıllarda kabiliyetleri geliştirilerek HEC-5 “Taşkın kontrolü için rezervuar sistemi işletmesi” ve HEC-Ressim “Rezervuar işletme simülasyonu” modelleri geliştirilmiştir [104].

Su Değerlendirme ve Planlama Sistemi (WEAP) Stockholm Çevre Enstitüsü Boston Merkezi (SEI, 2011) tarafından geliştirilmiştir [105]. Model, rezervuarın su denge denklemine dayanmaktadır ve su yönetimi senaryoları üretmek ve politika analizleri yapmak için bir araç olarak tasarlanmıştır [106-107]. Rezervuar sistemleri geliştiricileri, su teminini planlamanın yanı sıra performansını da değerlendirmek için WEAP modelini kullanabilirler. Buna ek olarak, model; rezervuar stratejileri geliştirmede çok sayıda alternatif politika incelemek ve değerlendirmek için de kullanılabilir. WEAP modeli, anlaşılması kolay ve Microsoft Excel ve Coğrafi Bilgisi Sistemi (CBS) gibi programlarla uyumlu olduğundan rezervuar sistemi simülasyonu için yaygın olarak kullanılmaktadır [107].

3.8. Rezervuar Sistemlerinin Optimizasyonu

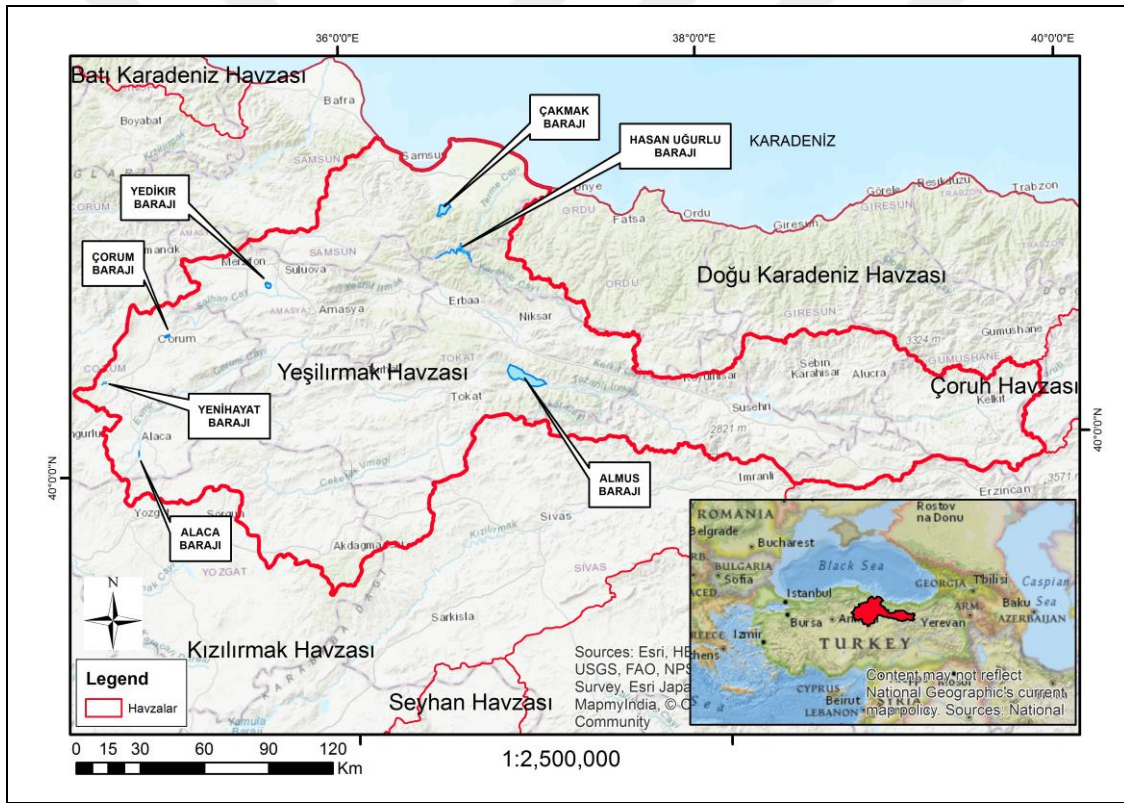
Optimizasyon modelleri karar verici değişkenliklerinin umut verici kombinasyonlarını araştırmayı daraltmak için kullanılmaktadır. Optimizasyon tüm istenmeyen işletme planlarını ortadan kaldırır ve küresel optimal çözüme yakın politikalar önerir [102]. Bununla birlikte, optimizasyon genellikle bir su kaynakları sisteminin çok basit bir temsiline dayanır. Bu nedenle, optimize edilmiş alternatifler simülasyon teknikleri uygulanarak daha da geliştirilebilir. Su kaynakları yönetiminde en sık kullanılan optimizasyon teknikleri üç ana gruba ayrılabilir: (1) lineer programlama (LP), (2) dinamik programlama (DP), (3) doğrusal olmayan programlama (DOP). Bu genel sınıflandırma, simülasyon modellerine ek olarak, su kaynakları sistemlerinin planlanması ve yönetiminde kullanılan temel yöntemleri temsil etmektedir [108]. Ayrıca, tüm optimizasyon modelleri alternatif karar politikaları için sistem performansını simüle eder. Optimizasyon modellerine dahil edilen nesnel fonksiyon ve kısıtlama denklemleri, gerçek sistemin bir temsili ve dolayısıyla bir simülasyon modelidir. Optimizasyon stratejileri genellikle bir simülasyon modelinin tekrarlı deneme-yanılma çalışmalarından oluşur.

Bu bölümde, bir baraj ve baraj gölünün temel özellikleri ile performans indislerinin ve diğer faydalı terminolojilerin gerekli tanımları sunulmuştur. Bir rezervuarın performansının nasıl değerlendirileceğine ilişkin genel bilgiler verilmiştir. Sadece bir rezervuarın tasarım aşamasında değil, aynı zamanda işletme yönetimi amacı için de geçerli olan farklı rezervuar boyutlandırma teknikleri, depolama verimi performans analizleri genel bir bakış açısıyla birlikte detaylandırılmıştır.

4. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

4.1. Çalışma Alanı

Tez çalışması kapsamında yapılan analizlerde, Türkiye’deki Yeşilırmak Nehrinin farklı kolları üzerinde yer alan yedi adet baraj dikkate alınmıştır. Barajlar, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilmekte olup barajlarla ilgili tüm veriler de kurum tarafından sağlanmıştır. Yeşilırmak Havzası yüz ölçümü açısından (38 387 km²) Türkiye’nin en büyük üçüncü havzası konumundadır [109] ve 39°46'80.05"N-41°37'26.86"N enlemleri ve 34°48'88.31"E-39°80'62.13"E boylamları arasında yer almaktadır (Bkz. Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Yeşilırmak havzası ve barajların konumları

Yedi barajın havza üzerindeki daha kesin konumları Çizelge 4.1’de özetlenmiştir. Yedi barajın tamamı toplam havzanın %48’ini oluşturan ve toplam yüzey alanı 18 569 km² olan Çorum, Yeşilırmak ve Tersakan alt havzalarında bulunmaktadır. Ayrıca, barajların detaylı karakteristik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Barajlara ait uydu görüntüleri Şekil 4.2-4.8’de yer almaktadır. Yıllık ortalama yağış miktarlarına bakıldığında Yeşilırmak Havzası Alaca Barajında minimum 377 mm ve Hasan Uğurlu Barajında maksimum 847 mm ile

nispeten kurak bir yapıya sahiptir. Diğer taraftan yıllık potansiyel buharlaşma yüksektir ve Hasan Uğurlu Barajı hariç barajların çoğunda yağış miktarından daha büyüktür, bu da baraj yüzeyinden net su kaybı (buharlaşma-yağış) anlamına gelmektedir. Planlama boyunca bu gibi pozitif net buharlaşma kayıpları göz ardı edilirse, kötü işletme performansı ve rezervuar kapasitesinin altında boyutlandırma sonuçları ortaya çıkacaktır. Havzada meydana gelen yıllık yağışların %65'i kış ve ilkbahar ayları süresince oluşmaktadır. Buharlaşmanın en yüksek olduğu yaz dönemlerinde ise yağış çok azdır. Yeşilirmak Havzasının toprak kullanım karakterizasyonu Çorum Alt Havzası tarafından temsil edilmiş olup Çizelge 4.3'de gösterilmiştir ve zamana bağlı toprak kullanımı değişimi gözler önüne serilmiştir. Çorum Alt Havzası için 2011 yılı ile 1987 yılı karşılaştırıldığında meraların azalması pahasına son zamanlarda kentlere ve tarımsal ekime adanmış arazilerde önemli artışlar gözlenmiştir. Meraların ekilebilir tarım arazilerine dönüştürülmesi, mevcut verilere göre ortalama 279,7 t km⁻²/yıl olan havza sediment verimini de etkileyecektir [110].

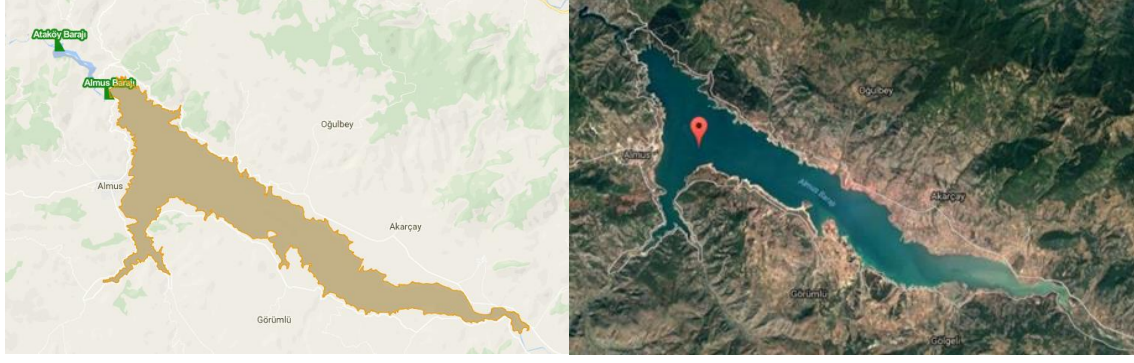
Çizelge 4.1. Barajların konumları ve diğer özellikleri

Baraj Adı	Enlem	Boylam	Alt Havza	Alt Havza Alanı (km ²)	Yıllık Potansiyel Buharlaşma (mm)	Yıllık Yağış (mm)
Alaca	40°10'80.09"N	34°83'86.67"E	Çorum	3827	1022,6	377
Çorum	40°58'25.44"N	34°99'19.99"E			920,01	416,74
Yenihayat	40°39'31.55"N	34°66'70.27"E			1022,6	583
Almus	40°38'66.95"N	36°92'92.19"E	Yeşilirmak	11961	938,3	492,7
Çakmak	41°10'87.80"N	36°60'88.38"E			722,4*	617,8
Hasan Uğurlu	40°91'77.52"N	36°64'53.06"E			722,4	847,4
Yedikır	40°77'74.77"N	35°56'82.93"E	Tersakan	2781	920,01	416,74

*Çakmak Barajına ait buharlaşma ölçümü olmadığı için onun yerine yakınındaki H. Uğurlu verileri kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. Barajların karakteristik özellikleri

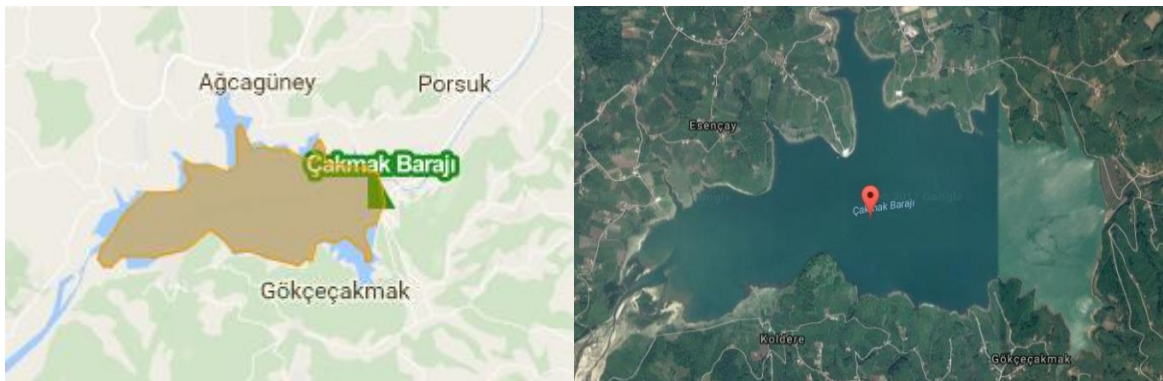
Baraj Adı	Baraj Tipi	Barajın Kullanım Amacı	İşletme Tarihi	Aktif Depolama Kapasitesi (hm ³)	Ölü Hacim (hm ³)	Dolu Haldeki Yüzey Alanı (km ²)	Barajın En Yüksek Kotu (m)	En Düşük Yıllık Akım (hm ³)	En Yüksek Yıllık Akım (hm ³)	Nehir Yatağının Boyu (m)
Alaca	Kaya Dolgu	Sulama	1985	10,3	2,2	0,988	1025	10,17	66,02	12759,84
Çorum	Zonlu Toprak Dolgu	Sulama, içme suyu	1977	6,1	0,051	0,59	917,13	0,12	6,8	2872,19
Yenihayat	Zonlu Toprak Dolgu	İçme suyu	2000	25,36	1,34	1,307	942,42	5,41	57,89	21970,38
Almus	Kil Çekirdekli Zonlu Dolgu	Sulama, Enerji, Taşkın	1966	813	148,82	3130	807,5	311,17	974,92	18997,12
Çakmak	Kil Çekirdekli Zonlu Dolgu	İçme suyu	1988	76,5	20,93	628	122,75	51,83	207,12	10899,44
Hasan Uğurlu	Kil Çekirdekli Kaya Dolgu	Enerji	1981	660	183,21	2266	191,5	1591,62	120525,25	46468,38
Yedikır	Kil Çekirdekli Zonlu Dolgu	Sulama	1985	54	1,51	593	517,57	16,15	79,85	7446,03



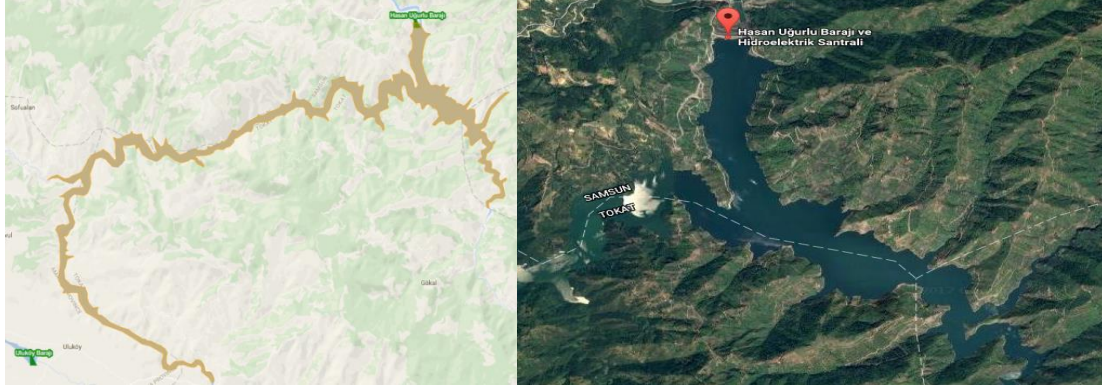
Şekil 4.2. Almus barajı uydu görüntüleri



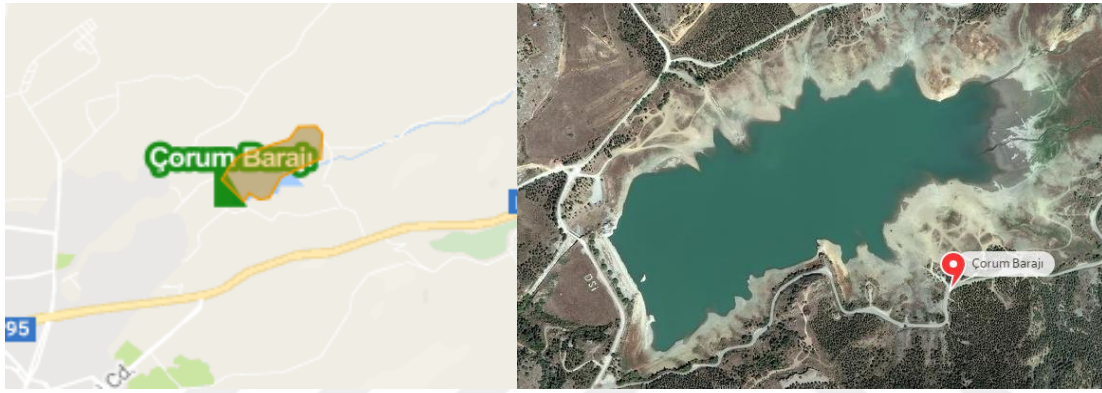
Şekil 4.3. Alaca barajı uydu görüntüleri



Şekil 4.4. Çakmak barajı uydu görüntüleri



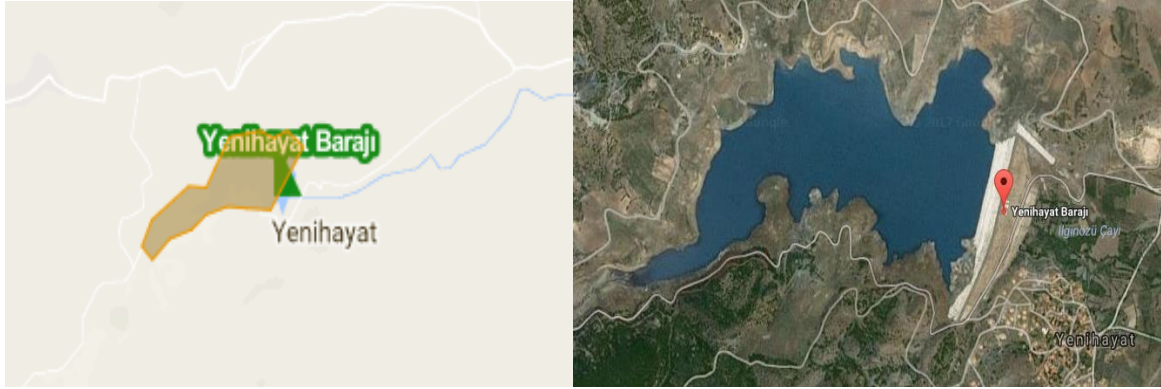
Şekil 4.5. Hasan Uğurlu barajı uydu görüntüleri



Şekil 4.6. Çorum barajı uydu görüntüleri



Şekil 4.7. Yedikır barajı uydu görüntüleri



Şekil 4.8. Yenihayat barajı uydu görüntüleri

Çizelge 4.3. 1987 ve 2011 yılları arasında Çorum alt havzasının toprak kullanımındaki değişim [111]

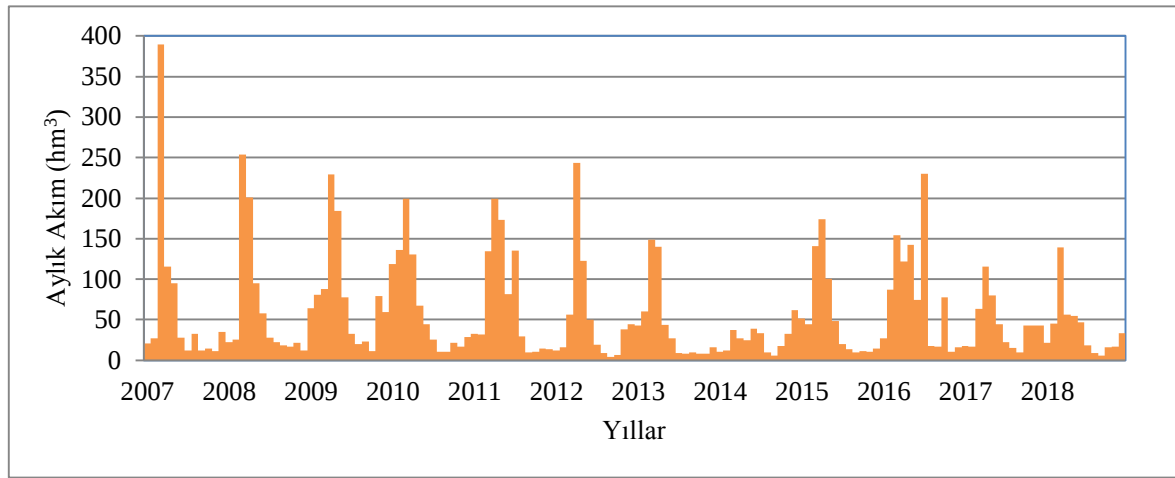
Yıl	Orman %	Mera %	Tarım Alanı %	Yerleşim Alanı %	Su Alanı %
1987	41,32	35,24	21,7	1,72	0,02
2011	47,5	6,98	37,09	8,28	0,15

4.2. Veriler

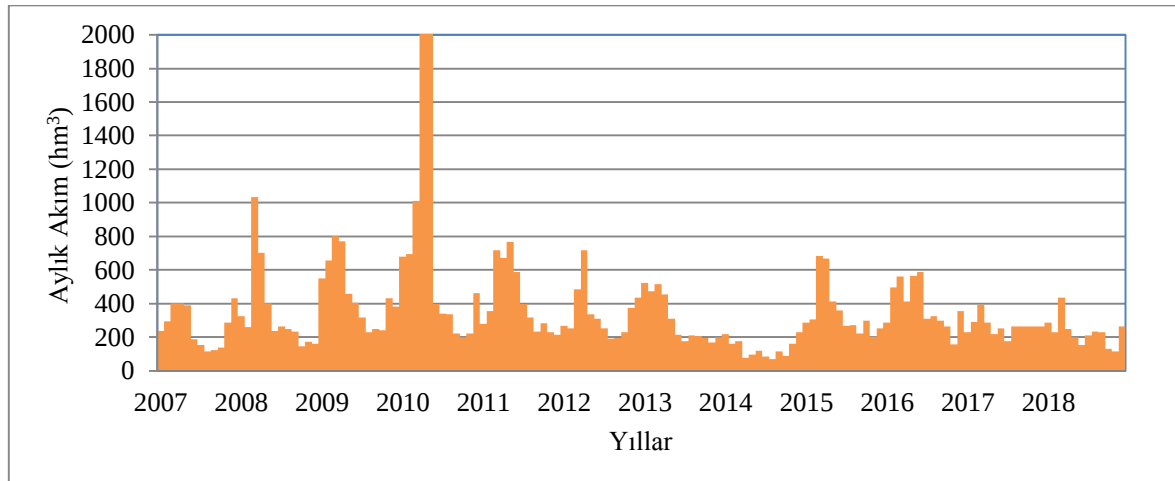
Bu çalışma için gerekli olan zaman serileri; akış, buharlaşma, yağış ve sediment verilerini içermektedir. Rezervuarların aylık giriş ve çıkış akım verileri 1968-2018 yılları arasında farklı periyotlarda mevcuttur. Akım serilerinin zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 4.9-4.15’de gösterilmiştir. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü’nden elde edilen akım verileri eş zamanlı değildir ve daha uzun ve güncel verileri elde etmek de mümkün olmamaktadır. Bu nedenle elde edilen mevcut veriler kullanılmıştır. Yıllık akış verilerinin özet istatistikleri Çizelge 4.4’de gösterilmiştir. Yağışın mevsimsel olma özelliğinden beklenildiği gibi akış da önemli mevsimsel değişiklikler göstermektedir. Yıllık akış değişkenlikleri varyasyon katsayısı C_v ile karakterize edilmiştir. Değerler genel olarak orta değişkenlik durumunu gösteren 0,5’in altındadır [112]. McMahon ve Adeloyle (2005)’ de gösterildiği gibi, bu tür akarsular üzerinde yer alan rezervuar sistemlerinden hem yıl içi, hem de yıl boyu davranışların sergileneceği beklenmektedir [82].

Çizelge 4.4. Rezervuarlar için akım verilerinin özeti

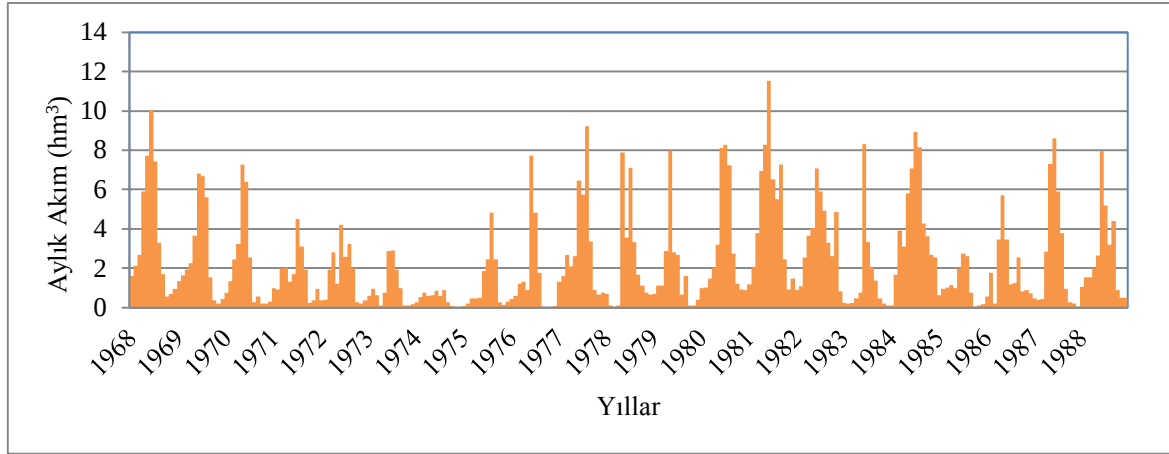
Nehir Adı (Havza)	Veri Periyodu	Yıllık Ortalama Akım (hm ³)	Standart Sapma	C _v
Suludere (Alaca)	1968-1988	29,61	12,45	0,42
Çomar (Çorum)	1988-2018	2,36	1,85	0,78
Çekerek (Yenihaat)	1968-1988	27,81	13,66	0,49
Yeşilırmak (Almus)	2007-2018	685,94	207,56	0,30
Abdal (Çakmak)	2007-2018	85,56	46,61	0,54
Yeşilırmak (Hasan Uğurlu)	2007-2018	13534,11	33710,12	2,49
Tersakan (Yedikır)	2010-2017	40,68	19,97	0,49



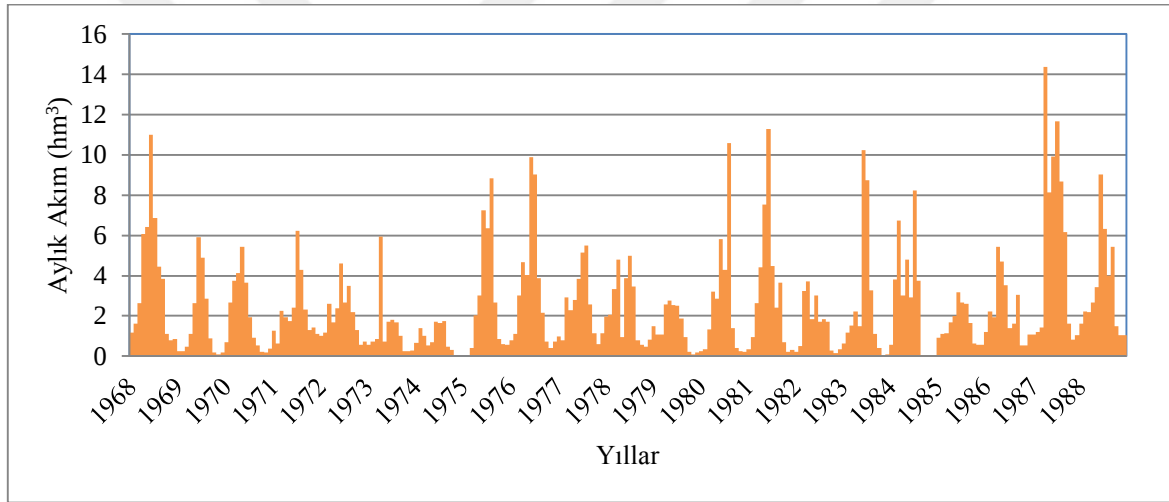
Şekil 4.9. Yeşilırmak nehri, Almus rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi



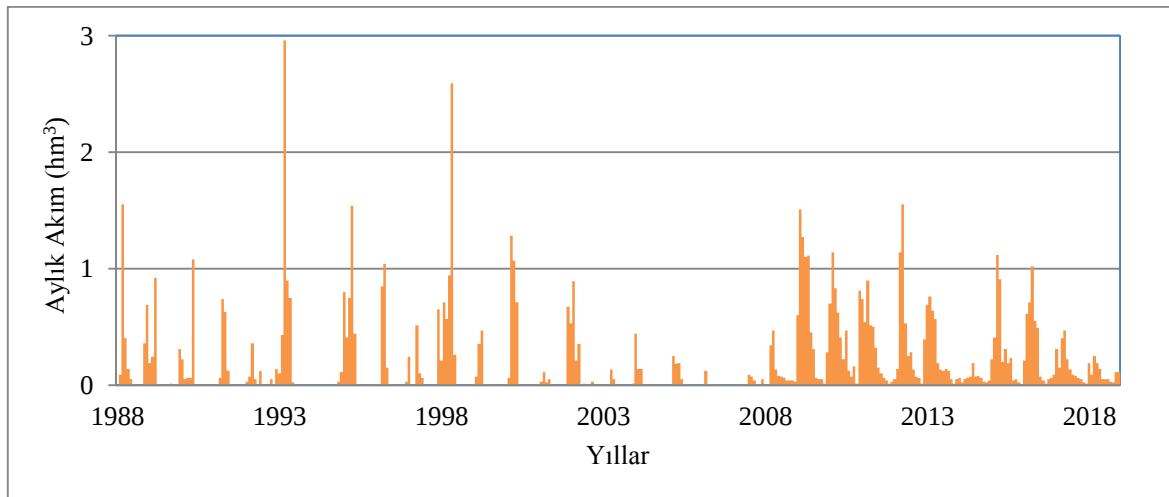
Şekil 4.10. Yeşilırmak nehri, H.Uğurlu rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi



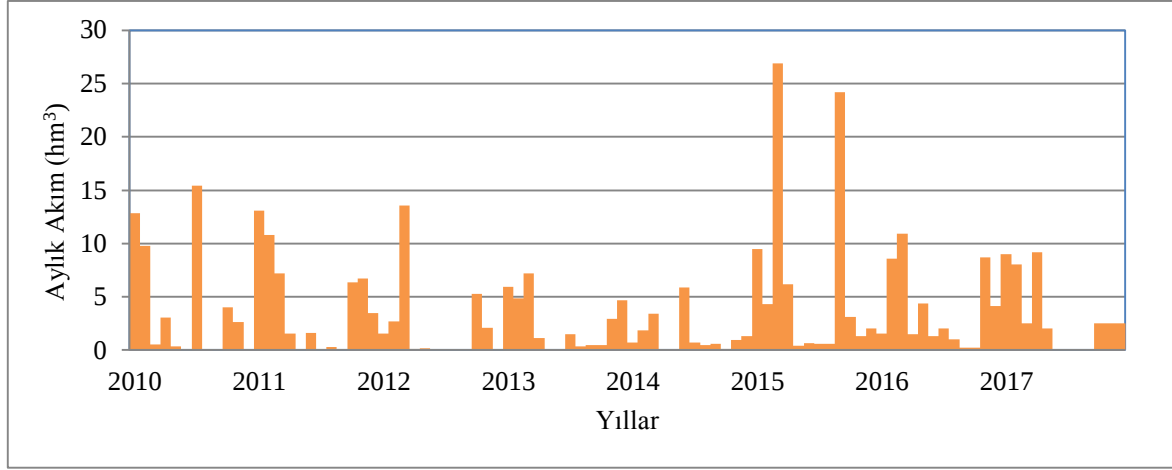
Şekil 4.11. Çekerek nehrî, Yenihiyat rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi



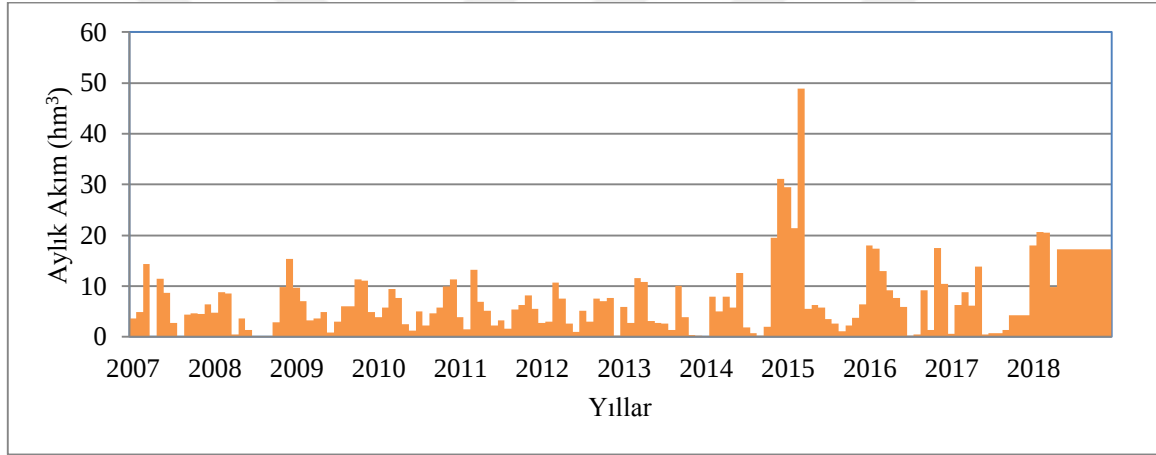
Şekil 4.12. Suludere nehrî, Alaca rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi



Şekil 4.13. Çomar nehrî, Çorum rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi



Şekil 4.14. Tersakan nehri, Yedikır rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi



Şekil 4.15. Abdal nehri, Çakmak rezervuarına ait aylık giriş akımının zamana göre değişimi

Hacimsel net buharlaşma verileri Çizelge 4.5-4.8’de gösterilmiştir. DSİ’den alınan veriler hali hazırda hacimsel birimde oldukları için kütle denge denklemlerinde doğrudan kullanılmışlardır. Birkaç yıl dışında, tüm barajlardaki yıllık net buharlaşma kaybı düşük değişkenlik göstermiştir. Rezervuarların buharlaşma kayıpları ile ilgili daha detaylı yapılan inceleme, yedi baraj için buharlaşma kaybı ile karşılanması gereken su talebi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Örneğin, yıllık bazda, ortalama hacimsel buharlaşma kaybı sulama suyu ihtiyacının %10’undan azdır. Aslında, bazı barajlar için örneğin Hasan Uğurlu, bu değer %1’in altındadır. Bunun anlamı, planlama veya işletme süresince buharlaşma etkisinin minimum olacağıdır. Hacimsel buharlaşmanın ortalama mevsimsel dağılımı ayrıca Çizelge 4.9’da gösterilmiştir ve net buharlaşmanın her zaman pozitif olduğu doğrulanmıştır.

Çizelge 4.5. Yenihayat ve Alaca barajlarının yıllık hacimsel buharlaşma verileri

Yıllar	Yenihayat			Alaca		
	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)	Su Talebi (hm ³)	Hac. Buhar. /Su Talep. %	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)	Su Talebi (hm ³)	Hac. Buhar. /Su Talep. %
1968	1,34	21,4	6,26	0,54	16	3,38
1969	1,34	21,4	6,26	0,54	16	3,38
1970	1,31	21,4	6,12	0,54	16	3,38
1971	1,34	17,8	7,53	0,54	19,6	2,76
1972	1,34	15,45	8,67	0,54	21,1	2,56
1973	1,34	16,6	8,07	0,42	16,99	2,47
1974	0,7	19	3,68	0,278	13,73	2,02
1975	0,63	15,25	4,13	0,54	17,68	3,05
1976	0,72	19	3,79	0,54	18,94	2,85
1977	1,23	21	5,86	0,562	16,4	3,43
1978	1,34	21,4	6,26	0,54	16	3,38
1979	1,34	21,4	6,26	0,54	16	3,38
1980	1,34	21,4	6,26	0,54	16	3,38
1981	1,34	21,4	6,26	0,54	16	3,38
1982	1,34	21,4	6,26	0,54	16	3,38
1983	1,34	21,4	6,26	0,54	16	3,38
1984	1,34	21,4	6,26	0,54	16	3,38
1985	1,31	21,4	6,12	0,54	16	3,38
1986	1,31	21,4	6,12	0,54	16	3,38
1987	1,35	21,4	6,31	0,54	16	3,38
1988	1,35	21,4	6,31	0,54	16	3,38

Çizelge 4.6. Almus, Çakmak ve Hasan Uğurlu barajlarının yıllık hacimsel buharlaşma verileri

Yıllar	Almus			Çakmak			Hasan Uğurlu		
	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)	Su Talebi (hm ³)	Hac. Buhar. /Su Talep. %	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)	Su Talebi (hm ³)	Hac. Buhar. /Su Talep. %	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)	Su Talebi (hm ³)	Hac. Buhar. /Su Talep. %
2007	32,4	824,51	3,93	5,26	54,71	9,61	20,82	3122,27	0,67
2008	23,33	781,68	2,98	5,63	49,11	11,46	9,11	4283,29	0,21
2009	36,77	933,12	3,94	5,63	64,64	8,71	46,71	5477,89	0,85
2010	37,17	846,98	4,39	5,63	65,13	8,64	37,58	120543,86	0,03
2011	39,87	733,6	5,43	5,63	63,7	8,84	36,9	5090,95	0,72
2012	23,67	701,32	3,38	5,63	84,88	6,63	15,01	3943,28	0,38
2013	23,69	445,46	5,32	5,63	69,2	8,14	11,63	3820,41	0,30
2014	37,57	319,08	11,77	4,01	70,46	5,69	10,8	1351,18	0,80
2015	32,33	648,7	4,98	7,38	118,72	6,22	13,16	4334,78	0,30
2016	35,12	630,22	5,57	5,73	105,48	5,43	17,74	4666,29	0,38
2017	58,3	547,88	10,64	5,63	78,86	7,14	17,62	2561,28	0,69
2018	65,8	538,86	12,21	5,63	93,1	6,05	12,91	2806,32	0,46

Çizelge 4.7. Yedikır barajının yıllık hacimsel buharlaşma verileri

Yıllar	Yedikır		
	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)	Su Talebi (hm ³)	Hac. Buhar. /Su Talep. %
2010	5,545	57,2	9,69
2011	5,645	39,55	14,27
2012	5,645	28,51	19,80
2013	5,645	37,19	15,18
2014	4,73	36,71	12,88
2015	5,89	52,62	11,19
2016	5,46	53,28	10,25
2017	5,97	51,22	11,66

Çizelge 4.8. Çorum barajının yıllık hacimsel buharlaşma verileri

Yıllar	Çorum		
	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)	Su Talebi (hm ³)	Hac. Buhar. /Su Talep. %
1988	0,708	4,04	17,52
1989	0,708	5,14	13,77
1990	0,708	4,94	14,33
1991	0,708	4,22	16,78
1992	0,708	1,73	40,92
1993	0,708	4,49	15,77
1994	0,708	3,03	23,37
1995	0,708	4,89	14,48
1996	0,708	3,41	20,76
1997	0,708	2,23	31,75
1998	0,708	3,59	19,72
1999	0,708	3,95	17,92
2000	0,708	3,26	21,72
2001	0,708	0,28	252,86
2002	0,708	2,66	26,62
2003	0,708	0,99	71,52
2004	0,708	0,95	74,53
2005	0,708	1,57	45,10
2006	0,708	3,12	22,69
2007	0,668	0,86	77,67
2008	0,48	2,3	20,87
2009	0,646	3,09	20,91
2010	0,812	3,99	20,35
2011	0,747	6,31	11,84
2012	0,706	3,27	21,59
2013	0,914	2,51	36,41
2014	0,554	3,59	15,43
2015	0,447	3,46	12,92
2016	0,96	0,38	252,63
2017	0,66	3,32	19,88
2018	0,362	2,18	16,61

Çizelge 4.9. Aylık ortalama buharlaşma verileri

	Yenihayat	Alaca	Almus	Çakmak	H.Uğurlu	Yedikır	Çorum
Aylar	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)	Hacimsel Buharlaşma (hm ³)
Ocak	0,10	0,92	0,99	0,47	0,66	0,46	0,06
Şubat	0,10	0,92	2,22	0,47	0,49	0,46	0,06
Mart	0,10	0,92	2,96	0,47	0,77	0,46	0,06
Nisan	0,01	0,88	4,37	0,47	1,14	0,29	0,04
Mayıs	0,03	0,25	3,05	0,33	1,70	0,48	0,06
Haziran	0,12	1,06	3,49	0,52	3,87	0,69	0,08
Temmuz	0,20	1,80	4,81	0,73	4,40	0,80	0,09
Ağustos	0,20	1,57	6,14	0,75	1,67	0,58	0,07
Eylül	0,12	1,13	3,68	0,36	2,19	0,29	0,06
Ekim	0,04	0,25	1,88	0,40	2,60	0,18	0,05
Kasım	0,10	0,92	1,83	0,19	0,76	0,42	0,01
Aralık	0,10	0,92	1,75	0,47	0,57	0,46	0,06

WEAP modelinin oluşturulmasında giriş akımı, su ihtiyacı, buharlaşma ve yağış verileri kullanılmıştır. Buharlaşma ve yağış verileri yükseklik (mm) cinsinden modele girilmiştir. Modelde barajların kot-hacim eğrilerinden yararlanılarak hacimsel net buharlaşmalar (buharlaşma-yağış) elde edilmiştir. Davranış analizi ve WEAP modelinde kullanılan aylık ortalama hacimsel buharlaşma verileri Çizelge 4.10-4.11’de verilmiştir. Çizelgelerde yer alan eksi net buharlaşma değerleri, o ayki ortalama yağış miktarının buharlaşma miktarından daha büyük olduğu anlamına gelmektedir.

Aktif kapasite üzerinde etkisinin olduğu sonucu çıkarılan sediment verileri Çizelge 4.12’de özetlenmiştir. Örneğin, Yenihayat aktif depolama kapasitesi 35 yılın sonunda 2,74 hm³ (%10.8) azalmıştır ve sediment birikimi (veya aktif kapasite azalması) 0,08 hm³/yıl’dır. Alaca Rezervuarında 35 yılda kapasitenin azalmasına neden olan sediment miktarı yüzde olarak Yenihayat Rezervuarından büyük olmasına rağmen, birikim miktarı 0,04 hm³/yıl’dır. Her iki rezervuar içinde yıllık sediment birikimi değeri düşüktür. Yenihayat ve Alaca Rezervuarlarının tamamen sediment ile dolmaları için sırasıyla 300 ve 270 yıl gerekmektedir. Daha fazla sediment üreten Hasan Uğurlu Havzasında bile, rezervuarın tamamen sediment ile dolması için 200 yıl süreye ihtiyaç vardır. Bu zaman periyotları, 50 ile 100 yıl arasında değişen olağan baraj rezervuarı yararlı ömür sürelerine göre oldukça fazladır.

Çizelge 4.10. Alaca, Almus ve Çakmak barajlarının aylık ortalama net buharlaşma verileri

Aylar	ALACA		ALMUS		ÇAKMAK	
	Aylık Ortalama Net Buharlaşma (hm ³) (DSİ)	Aylık Ortalama Net Buharlaşma (hm ³) (WEAP)	Aylık Ortalama Net Buharlaşma (hm ³) (DSİ)	Aylık Ortalama Net Buharlaşma (hm ³) (WEAP)	Aylık Ortalama Net Buharlaşma (hm ³) (DSİ)	Aylık Ortalama Net Buharlaşma (hm ³) (WEAP)
Ocak	0,011	0,009	0,99	0,918	0,47	-0,562
Şubat	0,011	0,014	2,22	1,13	0,47	-0,445
Mart	0,052	0,014	2,96	-0,523	0,47	-0,369
Nisan	0,052	-0,001	4,37	0,055	0,47	0,019
Mayıs	0,074	0,015	3,05	0,645	0,33	0,182
Haziran	0,103	0,047	3,49	2,342	0,52	0,511
Temmuz	0,124	0,118	4,81	4,189	0,73	0,622
Ağustos	0,104	0,089	6,14	4,003	0,75	0,522
Eylül	0,062	0,037	3,68	2,303	0,36	0,351
Ekim	0,037	-0,008	1,88	0,123	0,40	0,085
Kasım	0,011	0,015	1,83	-0,637	0,19	-0,127
Aralık	0,01	0,008	1,75	-1,141	0,47	-0,607

Çizelge 4.11. Çorum, Yenihayat ve Yedikır barajlarının aylık ortalama net buharlaşma verileri

Aylar	ÇORUM		YENİHAYAT		YEDİKIR	
	Aylık Ortalama Net Buharlaşma (hm ³) (DSİ)	Aylık Ortalama Net Buharlaşma (hm ³) (WEAP)	Aylık Ortalama Net Buharlaşma (hm ³) (DSİ)	Aylık Ortalama Net Buharlaşma (hm ³) (WEAP)	Aylık Ortalama Net Buharlaşma (hm ³) (DSİ)	Aylık Ortalama Net Buharlaşma (hm ³) (WEAP)
Ocak	0,058	0,033	0,018	-0,006	0,463	0,243
Şubat	0,058	0,034	0,018	0,012	0,463	0,267
Mart	0,058	0,032	0,056	0,010	0,463	0,249
Nisan	0,039	0,014	0,056	-0,026	0,290	0,090
Mayıs	0,056	0,019	0,090	-0,002	0,480	0,125
Haziran	0,081	0,037	0,122	0,072	0,690	0,246
Temmuz	0,095	0,064	0,153	0,156	0,795	0,445
Ağustos	0,070	0,065	0,154	0,151	0,579	0,399
Eylül	0,055	0,042	0,101	0,065	0,289	0,224
Ekim	0,052	0,027	0,062	-0,031	0,179	0,150
Kasım	0,012	0,036	0,018	-0,001	0,415	0,234
Aralık	0,058	0,031	0,018	-0,005	0,463	0,236

Çizelge 4.12. Aylık ortalama akım ve aylık ortalama sediment yükü

	Baraj İsimleri													
	Alaca		Çorum		Yenihayat		Almus		Çakmak		Hasan Uğurlu		Yedikır	
Aylar	Akım (hm ³)	Sediment Yükü (hm ³)	Akım (hm ³)	Sediment Yükü (hm ³)	Akım (hm ³)	Sediment Yükü (hm ³)	Akım (hm ³)	Sediment Yükü (hm ³)	Akım (hm ³)	Sediment Yükü (hm ³)	Akım (hm ³)	Sediment Yükü (hm ³)	Akım (hm ³)	Sediment Yükü (hm ³)
Ocak	0,84	0,00560	0,21	0,00179	0,72	0,00661	36,80	0,03405	8,41	0,02276	346,57	0,07597	6,77	0,02106
Şubat	1,29	0,00502	0,28	0,00234	1,05	0,01086	48,55	0,04493	8,97	0,02428	371,91	0,08153	6,38	0,01984
Mart	2,21	0,00838	0,59	0,00498	1,57	0,01599	150,3	0,13907	13,93	0,03772	601,18	0,13178	9,04	0,02811
Nisan	3,73	0,00740	0,51	0,00434	2,35	0,01313	146,1	0,13521	5,71	0,01545	56331	1,23480	2,85	0,00886
Mayıs	3,35	0,00584	0,35	0,00299	3,86	0,01028	98,60	0,09124	7,03	0,01903	4827,3	1,05818	0,93	0,00291
Haziran	5,58	0,00318	0,11	0,00091	5,68	0,00612	51,58	0,04773	5,01	0,01355	317,70	0,06964	1,18	0,00368
Temmuz	4,93	0,00102	0,06	0,00054	4,67	0,00221	48,71	0,04507	3,61	0,00978	245,29	0,05377	1,50	0,00465
Ağustos	3,89	0,00065	0,04	0,00032	3,65	0,00197	16,42	0,01519	2,60	0,00704	233,76	0,05124	0,35	0,00110
Eylül	2,12	0,00084	0,02	0,00019	2,18	0,00169	11,22	0,01038	5,61	0,01518	215,35	0,04721	3,18	0,00989
Ekim	0,68	0,00126	0,02	0,00018	0,78	0,00203	21,11	0,01953	5,74	0,01554	206,22	0,04520	2,76	0,00859
Kasım	0,44	0,00193	0,02	0,00019	0,70	0,00296	25,15	0,02327	9,49	0,02568	232,07	0,05087	3,49	0,01085
Aralık	0,56	0,00332	0,15	0,00123	0,60	0,00441	31,41	0,02906	9,46	0,02560	303,64	0,06656	2,27	0,00705



5. METODOLOJİ

Bu çalışma için benimsenmiş yaklaşımlar aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

- DSİ'den alınan rezervuar kapasite değerlerini doğrulamak için Sıralı Tepeler Algoritması (STA) kullanılarak rezervuar planlama analizleri yapılmıştır. Ayrıca boyutlandırmada buharlaşmanın ve sedimantasyonun gözönüne alınıp alınmadığını tespit etmek amacıyla [80];
- Rezervuarların işletme performanslarını belirlemek için Rezervuar Davranış Simülasyonu uygulanmış,
- İşletme performansına buharlaşmanın ve sedimentin etkisi belirlenmiştir.
- Rezervuar hacim seviyelerinin zamana bağlı değişimlerinin kalibrasyonu için her bir rezervuar ayrı ayrı WEAP ile modellenmiş;
- Sonuçların doğruluğu ve yöntemlerin kullanılabilirliğini onaylamak için WEAP modeli, davranış analizi ve ölçülmüş zamana göre değişen rezervuar kapasite değerleri karşılaştırılmıştır.

Bu aşamalar aşağıda özet olarak açıklanmıştır.

5.1. Sıralı Tepeler Algoritması (STA)

Sıralı Tepeler Algoritması yöntemi, baraja gelen akımın su talebini karşılamaması durumunda rezervuarda gerekli depolama hacminin belirlenmesinde kullanılan kritik dönem yöntemlerinden bir tanesidir. Tüm kritik dönem yöntemlerinde olduğu gibi bu yöntemde de başlangıçta rezervuarın tam dolu, bir başka deyişle eksikliğin sıfır olduğu kabul edilerek hesaplamalara başlanır. Buharlaşma ve sedimantasyon gibi ikincil işlemler göz ardı edilmişse, STA rezervuarların aktif kapasitelerini tahmin etmek için kullanışlı bir yöntemdir. STA yönteminin işlem adımları aşağıdaki gibidir:

$C_t = N$ periyotlarında kayıtlı t periyodunun başlangıçtaki biriken artan ardışık eksikliği;

$C_{t+1} = t+1$ başlangıç, t sonundaki periyotta biriken artan eksiklik;

$D_t = t$ periyodundaki su talebi, ihtiyacı;

$Q_t = t$ periyodu boyunca gelen akım

1. Adım 1: $C_0 = 0$, Başlangıç eksikliği (Rezervuar başlangıçta dolu kabul edilir).
2. Adım 2: t zaman periyodu için sürekli olarak $C_{t+1} = \max\{0, (C_t + D_t - Q_t)\}$; $t = 1, 2, 3, \dots, N$ hesaplaması yapılır.
3. Adım 3: Eğer $C_0 = C_{t+1}$ ise 4. Adıma geçilmelidir. Ancak, yapılan işlem ilk iterasyonsa 2.adıma gidip durulmalıdır. Çünkü brüt talep, ortalama akım değerinden büyüktür.
4. Adım 4: Rezervuar aktif kapasitesine karar vermek, K_a yani $K_a = \max(C_{t+1})$ $t = 1, 2, 3, 4, \dots, N$

5.2. Davranış Analizi ve Performans Değerlendirmesi

İşletme performansı değerlendirme rezervuar kütle dengesine dayanan davranış analizi kullanılarak aşağıdaki gibi yapıldı:

$$Z_{t+1} = Z_t + Q_t - D'_t - EV_t - S_t ; \quad (5.1)$$

$$0 \leq Z_{t+1} \leq K_t \quad (5.2)$$

Bu denklemde;

Z_{t+1} = t+1 anındaki aktif depolama kapasitesi (hm^3)

Z_t = t anındaki aktif depolama kapasitesi (hm^3)

Q_t = t süresi boyunca giriş akımı (hm^3)

D'_t = t süresi boyunca hacim birimli rezervuardan salınan su miktarı (hm^3)

EV_t = t süresi boyunca net buharlaşma miktarı (hm^3)

S_t = t süresi boyunca aktif depolama alanındaki sediment yükü (hm^3)

K_t = t anında geriye kalan aktif depolama hacmi miktarı (hm^3).

Genel olarak, K_t orjinal aktif kapasite K_a ile aşağıdaki ilişkiye sahiptir:

$$K_t = K_a - S_t \quad (5.3)$$

Sediment etkisinin gözardı edildiği durumlarda $S_t = 0$, $K_t = K_a$ olarak kabul edilir.

Eşitsizlik 5.2'deki eşitsizlik kısıtı hem suyun aktif depolama kapasitesini aşmamasını hem de negatif olmamasını sağlar.

Bunun anlamı bazı durumlarda D'_t gerçekte tüketilecek su talebinden (D_t) daha az olabilir; bu olduğunda rezervuarın başarısız olduğuna karar verilir.

Ne kadar suyun bırakılacağına karar verilmesi için bu çalışmada Standart İşletme Politikası (SİP) kullanılmıştır.

SİP rezervuarda yeterli miktarda su olursa, su talebinin tamamen karşılanmasını şart koşar; bunun dışında, mevcut su ihtiyacını karşılayabilmek için rezervuar tüm kaynağı boşaltmalıdır [113].

Durum a

$Z_t + Q_t < D_t$ için (su talebinin tamamını karşılamak için rezervuarda yetersiz su)

$D'_t = Z_t + Q_t$ (su talebini karşılamak için mevcut tüm su verilir ve rezervuar boş bırakılır)

Durum b

$D_t < Z_t + Q_t < D_t + K_t$ (su talebini tamamen karşılamak için yeter su bulunması)

$D'_t = D_t$ (rezervuar hedeflenen su talebini (D_t) karşılar)

Durum c

$Z_t + Q_t \geq D_t + K_t$ (mevcut su, su talebinin tamamını karşılayacak yeterli miktardan daha fazla ise)

$$D'_t = Z_t + Q_t - K_t \text{ (su talebi fazlasıyla karşılanır (D}_t\text{) ve rezervuar dolu bırakılır)}$$

Davranış simülasyonu tamamlandıktan sonra, rezervuar işletme performansı Bölüm 3.4'de verilen performans indisleri (hacme bağlı güvenilirlik, zamana bağlı güvenilirlik, iyileşebilirlik, maksimum eksiklik, sürdürülebilirlik) temel alınarak değerlendirilmiştir.

5.3. WEAP (Water Evaluation And Planning System) Modeli

WEAP (Su Kaynakları Değerlendirme ve Planlama Sistemi), kısıtlı su kaynaklarının; tarımsal, kentsel ve çevresel su kullanımları arasındaki tahsisi, arz, talep, su kalitesi ve ekolojik faktörler gibi unsurların tam bir entegrasyonunu sağlamak amacıyla oluşturulmuş bir modeldir [114].

WEAP aşağıda yer alan su kaynağı planlamasındaki bir çok önemli özelliği bünyesinde bulundurmaktadır:

- Bütünleşik su kaynakları planlama sistemi,
- Yağış-akış ve sızma, evapotranspirasyon, bitki ihtiyaçları ve verim, yüzey suyu/yeraltı suyu etkileşimi, ve nehirlerde su kalitesi için hazır modeller,
- CBS tabanlı, grafiksel ara yüz,
- Hazır fonksiyonlar ile model geliştirme,
- Kullanıcı tanımlı değişken ve denklemler,
- Diğer modeller ve hesap tablosu programları ile dinamik bağlantı,
- Su tahsis denklemlerinin gömülü lineer çözüm programları,
- Grafik, tablo ve harita içeren güçlü raporlama sistemi.

WEAP modeli, şematik görünüm (schematic), veri (data), sonuçlar (results), senaryo araştırmacıları (scenario explorer) ve notlar (notes) olmak üzere beş temel ara yüzden oluşmaktadır [114].

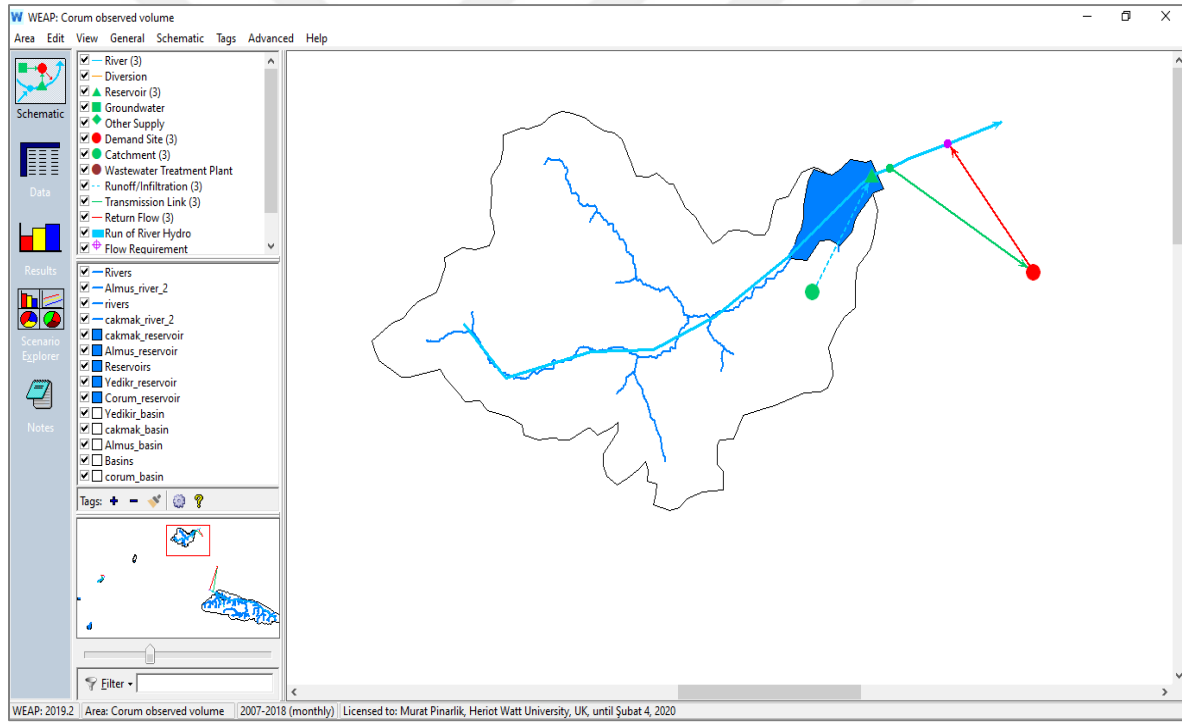
5.3.1. Şematik görünüm

CBS araçları kullanarak, sistem elemanlarının oluşturulması ve yerleştirilmesi ile su kaynağına bağlı sistem kolay ve hızlı bir şekilde yapılandırılmaktadır. ArcGIS ve diğer

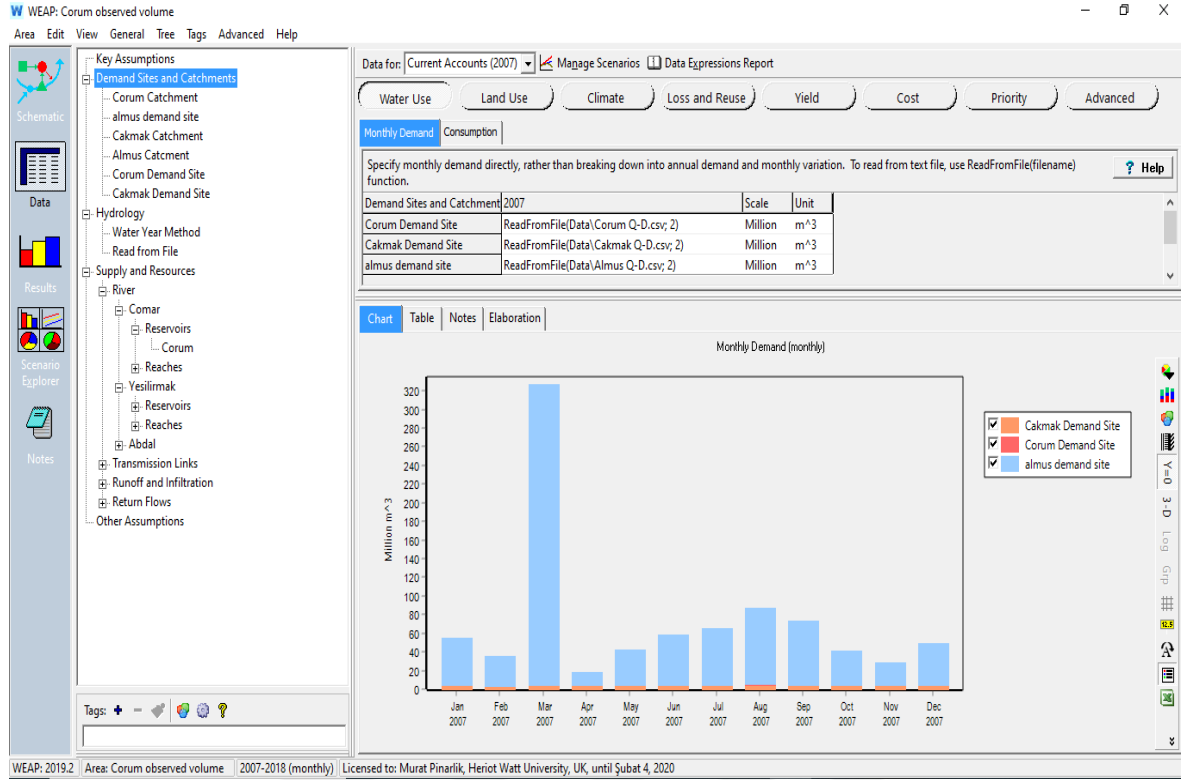
standart CBS vektör ve "raster" dosyaları şematik görünüm ara yüzüne doğrudan eklenebilmektedir. Bu sayede, sistemde oluşturulan her eleman daha gerçekçi olmakta ve kolaylıkla verilerine ve sonuçlarına ulaşılabilir. Şematik görünüm Resim 5.1'de gösterilmiştir [114].

5.3.2. Veri

Model oluşturma araçları, değişkenler ve ilişkiler oluşturmanıza, matematiksel ifadeler kullanarak varsayımlar ve tahminler girmenize ve veriyi içe ve dışa aktarma için Excel'e dinamik olarak bağlamanıza yardımcı olur. Veri ara yüzünün görünümü Resim 5.2'de verilmiştir [114].



Resim 5.1. WEAP modeli ana ekran ve şematik görünüm

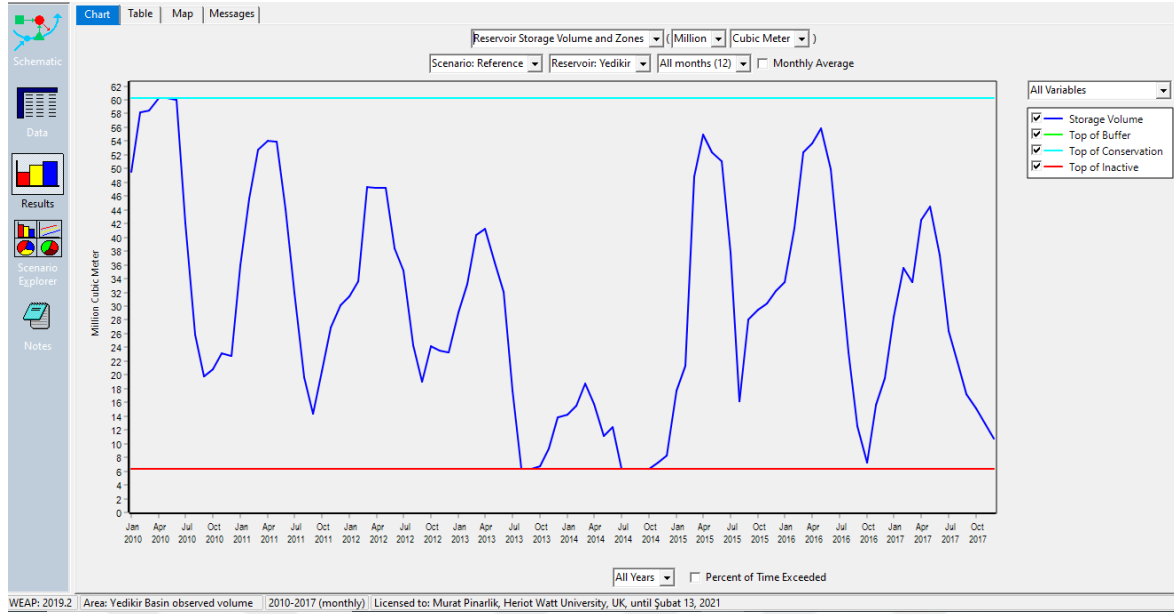


Resim 5.2. WEAP modeli veri ekran

WEAP modeli veri ekranı kullanılarak; havza özellikleri (yüz ölçümü, yağış miktarı, yağış-akış modelleri, bitki örtüsü, evapotranspirasyon), rezervuar karakteristiği (ölü hacim, maksimum hacim, kot-hacim, güvenlik katsayısı, güvenlik bölgesi, buharlaşma), su talebi bölgesi özellikleri (insan sayısı, su ihtiyacı, su tüketim miktarı), nehir özellikleri (giriş akımı) modele doğrudan girilebilmektedir.

5.3.3. Sonuçlar

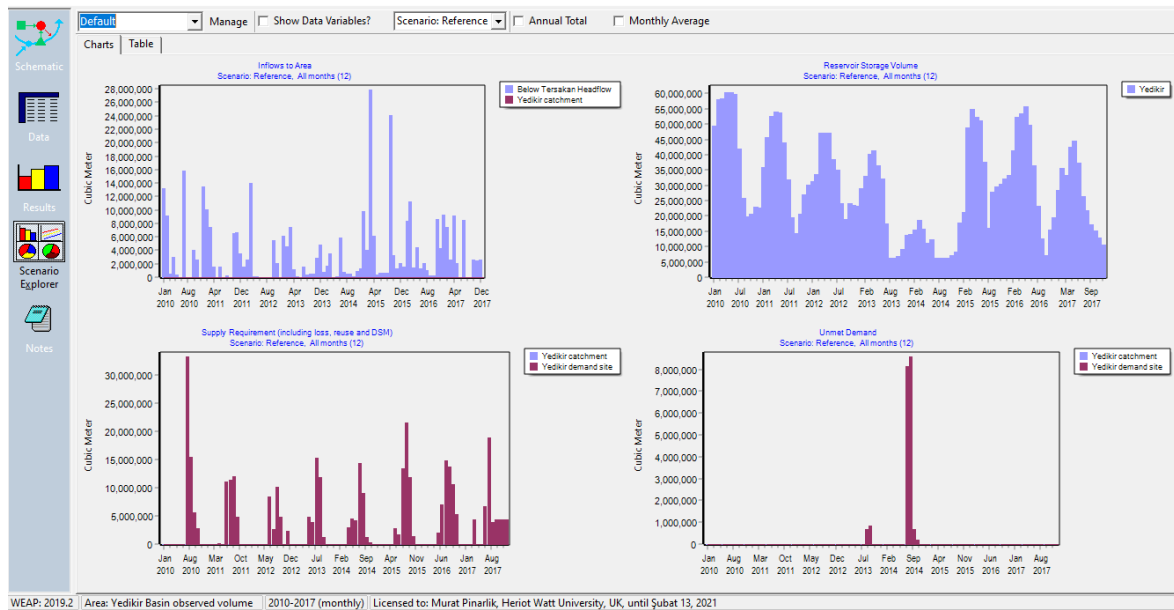
Tüm model çıktılarının detaylı ve esnek gösterimi grafikler, tablolar ve harita üzerinde görülebilir. Grafik ve harita formatları, sonuçların zaman içinde animasyonlu olarak görüntülenmesini sağlar [114]. WEAP modeli sonuçlar ekranından rezervuar kapasitesinin zamana göre değişimi ile ölü hacim ve maksimum hacmin gösteriminin bir örneği Resim 5.3’de gösterilmiştir.



Resim 5.3. WEAP modeli sonuçlar ara yüzü örneği

5.3.4. Senaryo araştırmaları

Veri girişlerinin ve sonuçların gösterildiği, hızlı bir özet grafik grubu gösteren sekmedir. Bu kısımda verilerdeki değişikliklerin sonuçları nasıl etkilediği kolay bir şekilde görülebilmektedir [114]. WEAP modeli, senaryo ara yüzünün gösterimi Resim 5.4’de verilmiştir.



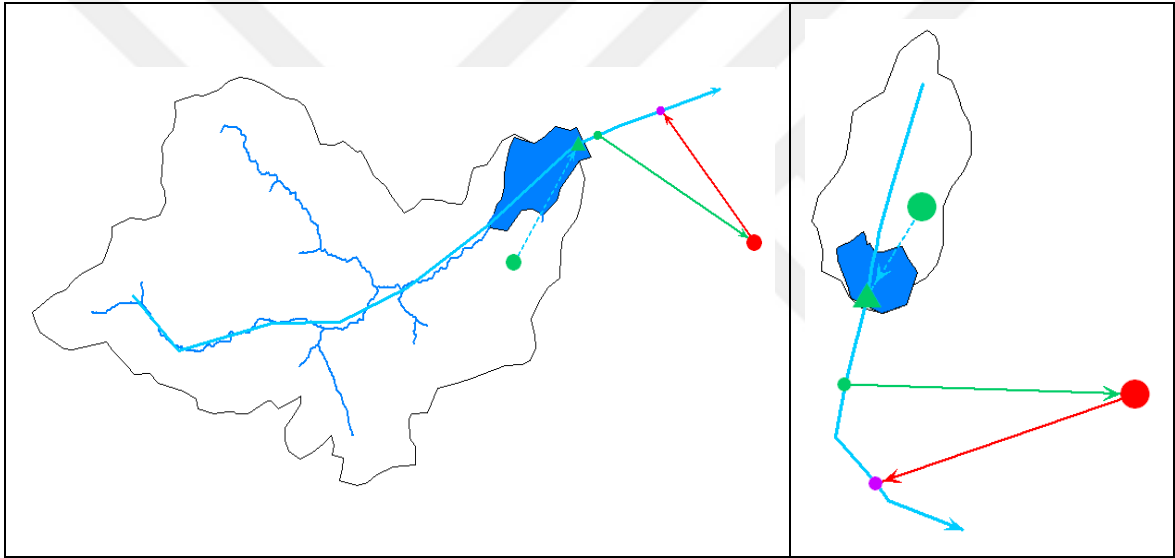
Resim 5.4. WEAP modeli senaryo araştırmaları ekran görüntüsü

5.3.5. Notlar

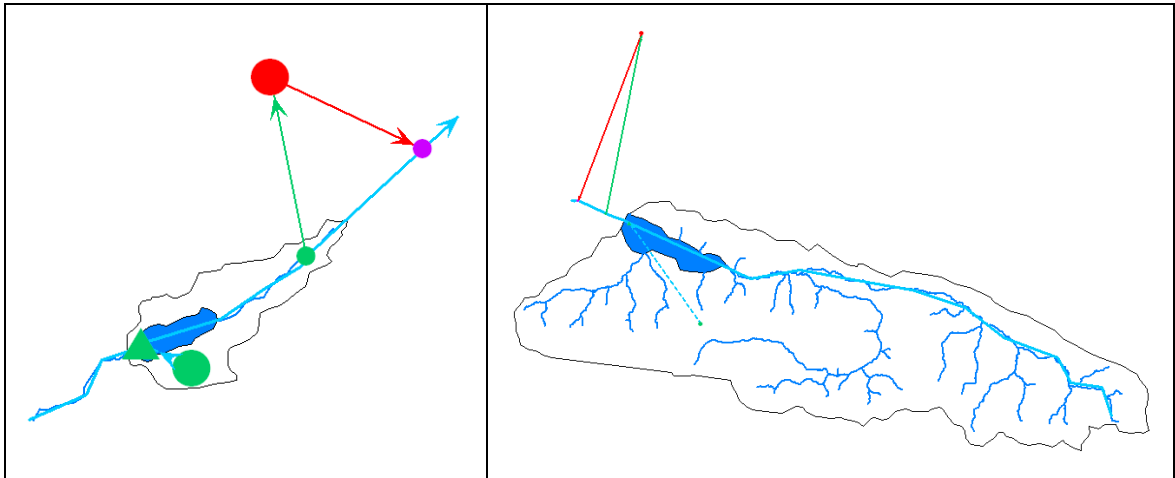
Bu kısımda elde bulunan veriler ve yapılan kabuller belge haline getirilebilmektedir [114].

5.3.6. WEAP modelinin oluşturulması

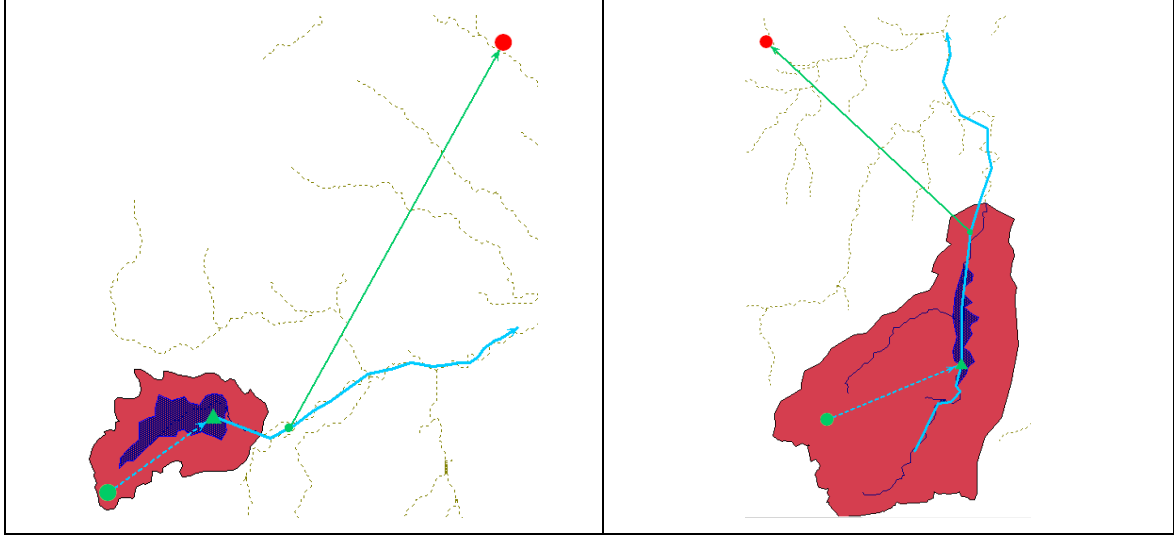
WEAP modelini oluşturmak için ilk olarak CBS kullanılarak baraj havzaları ve akarsu kollarının konumları belirlenmiştir. Belirlenen akarsular WEAP şematik menüsünde çizilmiştir. Akarsuların üzerlerine barajlar, iletim hatları ve suyun temin edileceği bölgeler tanımlanmıştır. Rezervuar modellerinin şematik gösterimleri Resim 5.5-5.7’de verilmiştir.



Resim 5.5. Çakmak ve Yedikır rezervuarlarının şematik gösterimi



Resim 5.6. Çorum ve Almus rezervuarlarının şematik gösterimi



Resim 5.7. Yenihayat ve Alaca rezervuarlarının şematik gösterimi

WEAP modeli, rezervuar işletmesinde su denge denklemini temel almaktadır. İşletme politikası olarak da rezervuar bölgelerine dayalı kural eğrilerini kullanmaktadır. Modelde giriş akımı (hm^3), su ihtiyacı (hm^3), buharlaşma (mm), yağış (mm), rezervuar kapasite bölgeleri (hm^3) ve kot-hacim (m-hm^3) verileri kullanılmıştır. Rezervuardaki suyun ulaşabileceği maksimum seviye rezervuarın maksimum kapasitenin üst noktası, minimum ulaşabileceği seviye ise rezervuarın ölü hacim üst noktası olarak seçilmiştir. Başka bir deyişle rezervuarların su ihtiyacını karşılamak için depolanan tüm suyu kullanabilmesine olanak tanınmıştır. Modelde öncelik, rezervuardaki suyun korunması yerine su talebinin karşılanmasına verilmiştir. Diğer taraftan model altı baraj (Alaca, Almus, Çorum, Çakmak, Yedikır, Yenihayat) için oluşturulmuştur. Hasan Uğurlu Barajı konumu gereği Yeşilırmak akarsuyu ana kolunda ve havzanın orta bölgesinde yer almaktadır. Yan kollarda ve nehrin ana kolunda yer alan diğer barajlardaki su tutma ve salınım performansları Hasan Uğurlu barajını doğrudan etkilemektedir. Havza genelindeki tüm barajlara ait işletme verilerine sahip olunamadığından bu baraj için sağlıklı bir sonuç elde edilemeyeceği düşünülmüş ve WEAP modeli dışında tutulmuştur.



6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Rezervuar Aktif Kapasitelerinin Doğrulanması

Sediment birikimi ve buharlaşma göz ardı edilerek hesaplanan aktif depolama kapasitesi için STA analizi sonuçları Çizelge 6.1’de gösterilmiştir. Kapasite tahmini üzerinde, verilerin zamansal ölçeğinin etkisini hesaplamak amacı ile analizlerde alternatif olarak hem yıllık hem de aylık veriler kullanılmıştır. Ayrıca Çizelge 6.1’de DSİ tarafından elde edilen kapasite sonuçları ile karşılaştırma yapılmıştır. Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi, yıllık verilere dayalı analizlerde rezervuar kapasite tahminleri, karşıtı aylık verilere dayalı analizlere göre çok daha küçüktür. Bunun nedeni, aylık verilerle yapılan analizlerde toplam (yıl içi ve yıllık) depolama kapasitesi hesaplanırken, diğer durumda sadece yıllık kapasite hesaplanmaktadır.

Çizelge 6.1. Rezervuarların STA ile hesaplanan aktif kapasiteleri

Rezervuarlar	Aktif Kapasite (DSİ) hm ³	Aktif Kapasite (yıllık) hm ³	Aktif Kapasite (aylık) hm ³
Alaca	10,30	4,71	9,83
Almus	813	111,91	380,45
Çakmak	76,50	40,79	57,94
Çorum	6,10	24,55	25,61
H. Uğurlu	660	225,48	583,50
Yedikır	54	33,85	57,38
Yenihayat	25,36	19,60	25,95

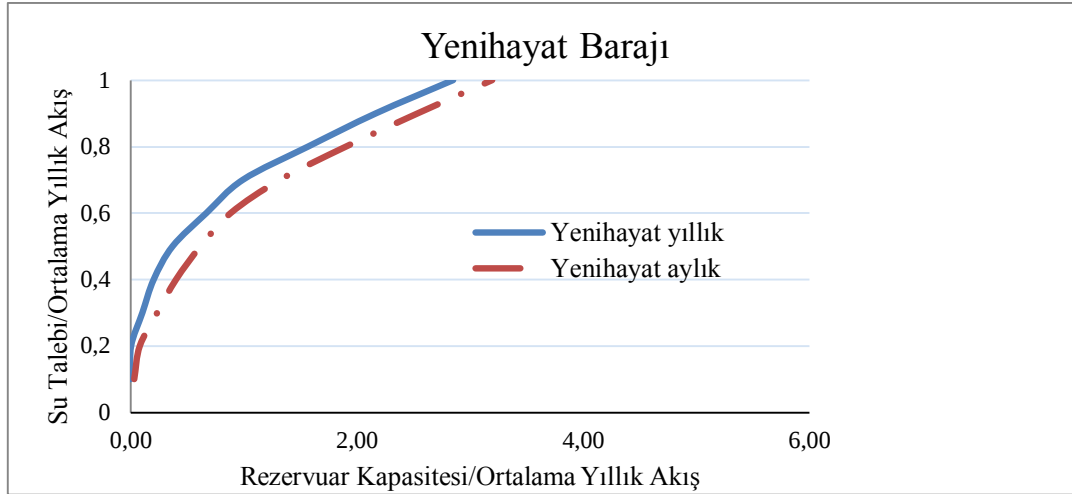
Baraj havzalarındaki yıllık akımın orta değişkenliği ile ilgili önceden yapılan gözlemlere dayanarak, sırasıyla rezervuar bölgelerinde önemli yıl içi depolama gereksinimleri beklenebilir. DSİ’den alınan kapasite değerleri ile STA kullanılarak hesaplanan kapasiteler arasında da farklılıklar vardır. Yukarıda da belirtildiği gibi yıllık kapasite tahminleri için geçmişteki araştırmalarda oluşan ön yargılardan dolayı, gelecek hesaplamalardaki karşılaştırmalar aylık verilere dayalı STA kapasite hesaplamaları ile sınırlandırılacaktır.

Üç rezervuardaki STA tahminleri: Alaca, Yedikır ve Yenihayat Rezervuarları için DSİ’den alınan kapasite değerleri neredeyse tamamen eşleşmektedir ve DSİ’nin rezervuar kapasitelerini hesaplama yöntemleri tam olarak bilinmemesine rağmen, bu sonuçlar,

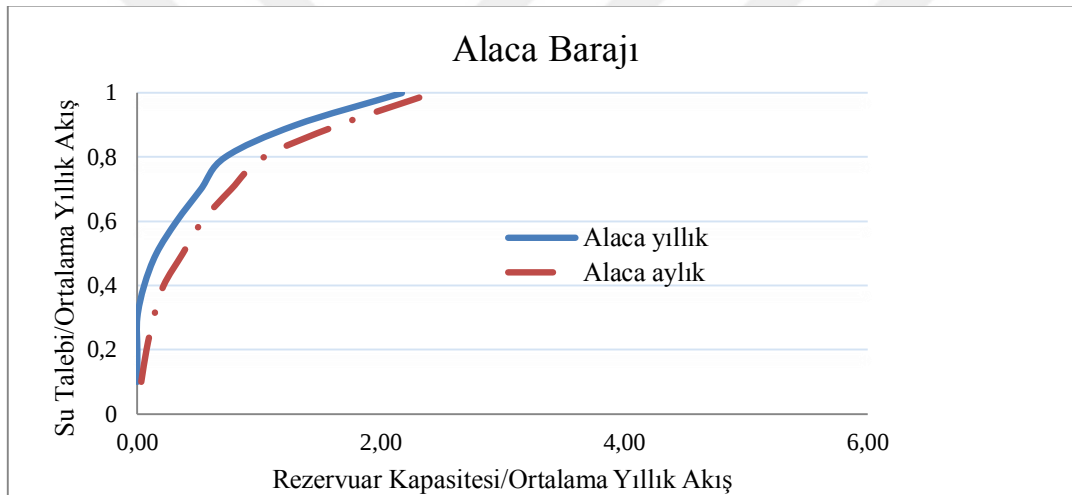
rezervuarlar için kapasite tahmini yapılırken ikincil süreçlerin (sediment ve buharlaşma etkisi) dikkate alınmadığının bir göstergesi olarak kabul edilebilmektedir. Almus Barajının STA ile hesaplanan kapasitesi 380 hm^3 olup, bu değer DSI'den alınan kapasite değerinin (813 hm^3) %47'sidir. Bu kapasiteler arasındaki büyük farklılığın nedeni net olarak belli olmasa da; planlama analizindeki iklim değişikliği, gelecekteki nüfus artışı, buharlaşma ve sediment birikimi gibi çok sayısındaki belirsizliğe karşı önemli bir güvenlik faktörü oluşturmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi, Almus baraj havzasındaki hacimsel buharlaşma, tüketim sulama talebine kıyasla çok düşüktür ve havzadaki tortu verimi de oldukça azdır. Sonuç olarak, Almus'taki aşırı tasarımın hem buharlaşma hem de sedimentasyonun dikkate alınmasından kaynaklanmış olması muhtemel değildir. DSI verilerine göre çok daha küçük STA kapasitesi tahmininin performans yeterliliği, buharlaşma ve sedimentasyon etkisi altında olan ve olmayan performansı değerlendirilirken, bir sonraki aşamada test edilecektir. DSI'den alınan kapasiteler ve buna karşılık gelen STA tahminleri arasındaki aşırı tasarım farklılıkları ayrıca hem Çakmak (%24,26) hem de H.Uğurlu'da (%11,6) mevcuttur. Ancak bu farklar Almus Rezervuarında olduğu kadar yüksek değildir ve aynı zamanda DSI tarafından baraj tasarımlarında daha büyük boyutlara yönelme eğilimine bağlanabilir.

Rezervuarlardaki daha büyük ölçülü boyutlandırma, doğal bir güvenlik faktörüne neden olacağından dolayı tolere edilebilir. Ancak, Çorum Rezervuarındaki gibi bir küçük boyutlandırma her bir barajın işletme performansı üzerinde negatif etki yaratacağından göz ardı edilemez. DSI'den alınan rezervuar kapasite değerlerinin altında boyutta yalnızca Çorum Barajı belirlenmiştir. STA ile hesaplanan kapasite değeri, DSI'den alınan kapasite değerinin ($6,1 \text{ hm}^3$) dört katı büyüklüktedir.

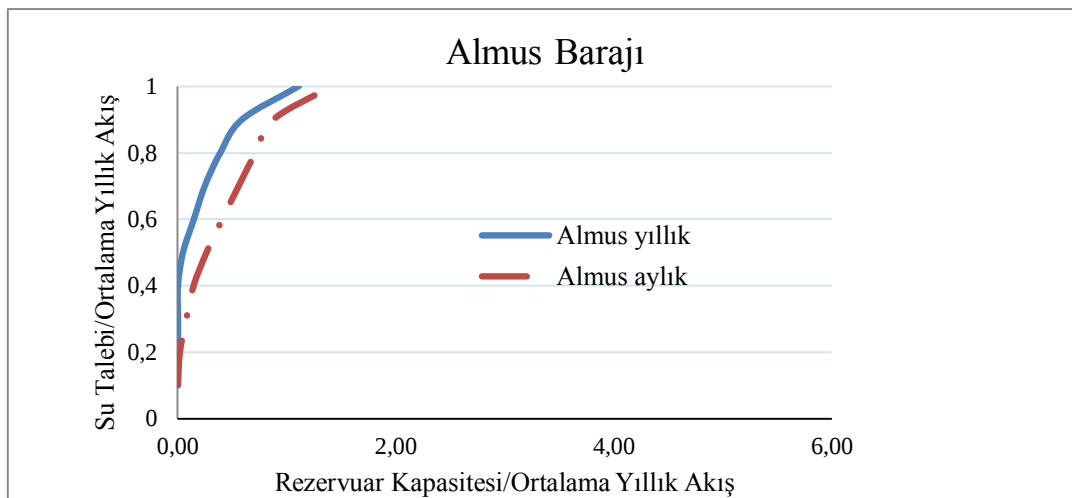
Rezervuarların gelecekte oluşabilecek ek su taleplerini karşılayabilmeleri için kapasite artışına gidilmesi hakkında karar verilmesine yardımcı olmak amacıyla, rezervuarlar için tam kapasite-verimlilik fonksiyonu geliştirilmiştir. Bu fonksiyon, farklı su talebi seviyeleri için STA'nın tekrarlanan uygulamasını kapsamaktadır. Sonuçlar, tüm rezervuarlar için Şekil 6.1-6.7'de gösterilmiştir. Beklendiği gibi, aylık kapasite-verimlilik fonksiyonu her zaman yıllık fonksiyonun sağ tarafındadır; aralarındaki su talebi farkı rezervuarın yıl içindeki depolama ihtiyacına karşılık gelmektedir. Az ve orta değişken akımlar için (Yenihayat, Alaca, Almus, Çakmak, Yedikır), bu rezervuarlarda, önemli yıl içi depolama ihtiyacının mevcut olduğunu bu iki fonksiyon belirgin şekilde ifade etmektedir.



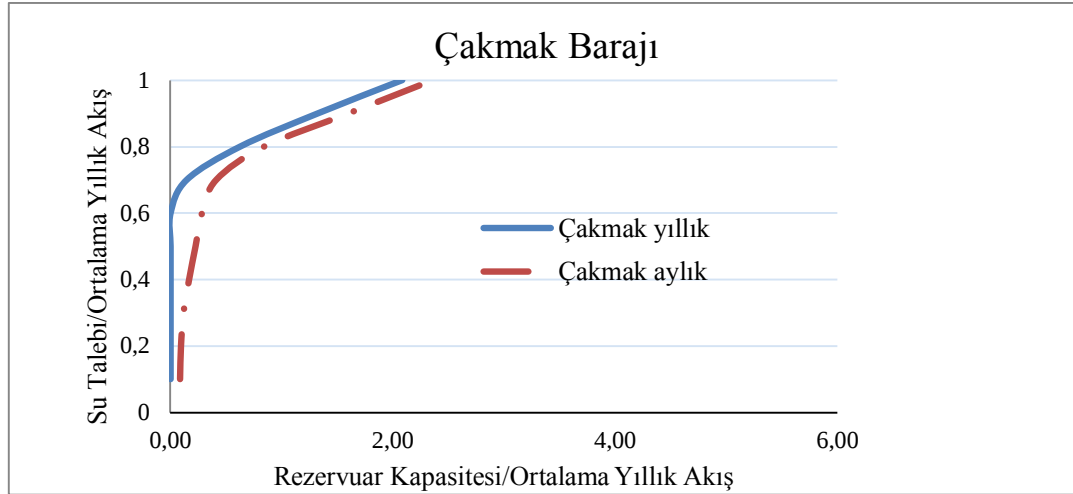
Şekil 6.1. Yenihayat barajı depolama kapasitesi verimi



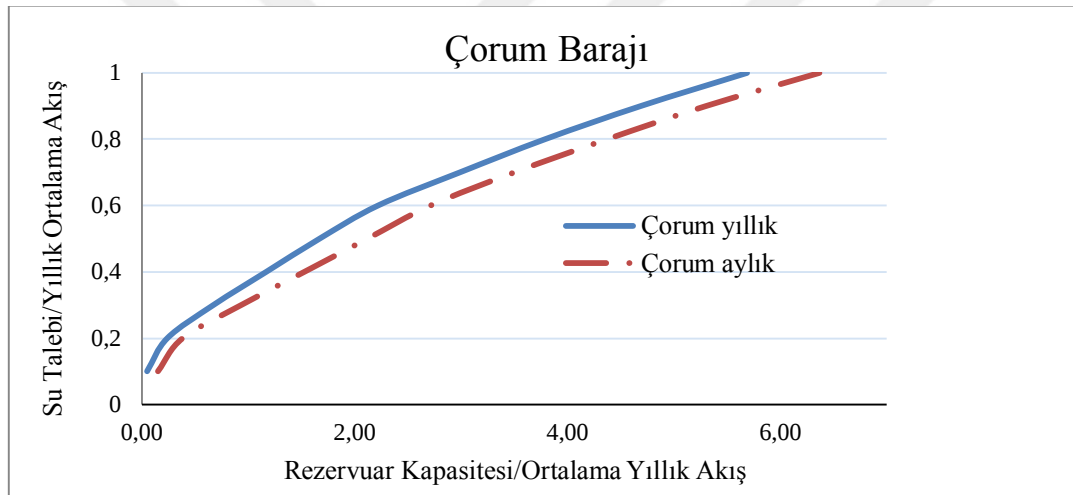
Şekil 6.2. Alaca barajı depolama kapasitesi verimi



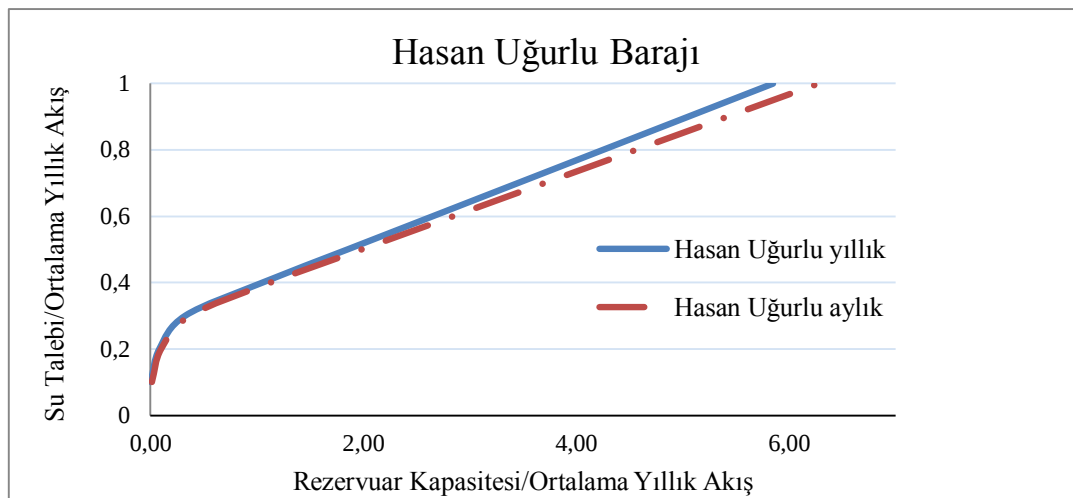
Şekil 6.3. Almus barajı depolama kapasitesi verimi



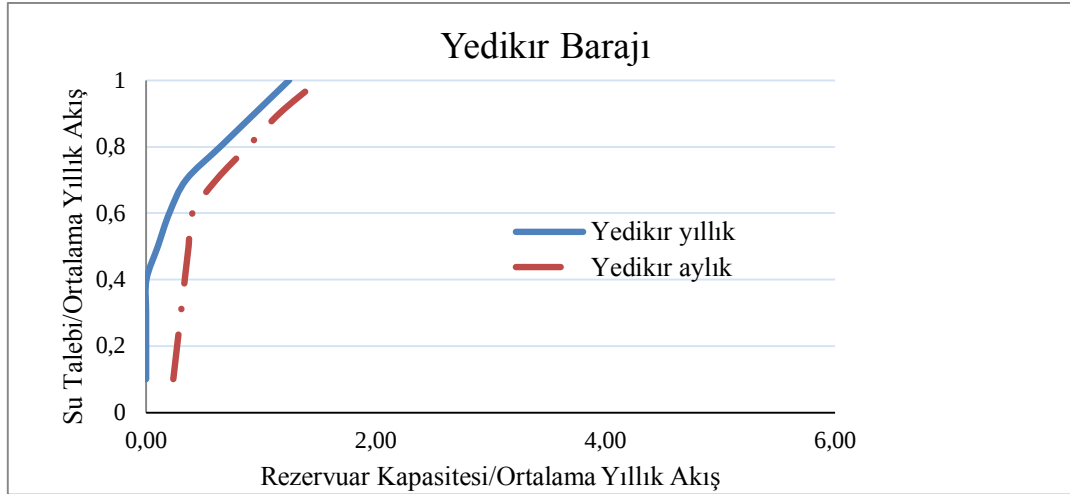
Şekil 6.4. Çakmak barajı depolama kapasitesi verimi



Şekil 6.5. Çorum barajı depolama kapasitesi verimi



Şekil 6.6. Hasan Uğurlu barajı depolama kapasitesi verimi



Şekil 6.7. Yedikır barajı depolama kapasitesi verimi

Nitekim, bu rezervuarlar için kapasite-verimlilik fonksiyonlarında da ortaya konduğu gibi, yıllık analize dayalı olarak gerekli kapasite 0,5 OYA (OYA = ortalama yıllık akış) su talebine kadar sıfırdır. Aylık analiz kullanılırken, 0,1 OYA kadar düşük talebi karşılamak için depolanmış su gerekmektedir. Yüksek yıllık değişkenlikteki nehirler (Çorum ve H.Uğurlu) için, iki fonksiyon düşük talep oranlarında bile ayırt edilemez, bu da bu nehirler için güvenilir kapasite tahminlerinin yıllık akış verileri kullanılarak elde edilebileceği anlamına gelir.

Kapasite-verimlilik fonksiyonlarının bir diğer önemli kullanımı, ilgili havzalardaki kapasite arttırımının yanı sıra, rezervuar planlaması için bölgesel bir araç gibi olmasıdır. Düşük-orta değişkenlikteki kapasite-verimlilik fonksiyonlarının benzerliği, su talebi ve ortalama yıllık akım biliniyorsa, bölgedeki yeni rezervuarları planlamak için kullanılabileceklerinin bir göstergesidir. Bunu yapmak için su talebi, yıllık ortalama akış tarafından ölçeklendirilmektedir. Ölçeklenmiş su talebi ile herhangi bir rakamı girerek, ölçeklendirilmiş aktif depolama kapasitesi okunabilir. Yıllık fonksiyonun eksik tahminler verdiği göz önüne alındığında, hem yıl içi hem de yıllık depolama gereksinimlerini karşılamak için aylık fonksiyonu kullanmak daha iyi olacaktır. Hacimsel kapasite tahminini elde etmek için, ölçeklenmiş kapasite, bilinen ortalama yıllık akış ile çarpılacaktır. Böylece yeni barajın planlanan ideal aktif hacmi kolaylıkla elde edilebilir veya barajdan aktif hacim ile talep edilen su miktarı hesaplanabilir.

6.2. Rezervuarlar İşletme Performanslarının Değerlendirmesi

Rezervuarların işletme performanslarını değerlendirmek için rezervuar davranış analizi simülasyonları daha önce Bölüm 5.2’de anlatıldığı şekilde uygulanmıştır. STA tarafından tahmin edilen kapasiteler ile DSİ tarafından bazı rezervuarlar için belirtilen kapasite değerleri arasındaki uyumsuzluk nedeniyle, her iki kapasitenin de geçerli olduğu varsayılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu işlem aynı zamanda, gözlemlenen küçük veya büyük tasarımın rezervuar performansı üzerinde kayda değer bir etkisi olup olmadığını onaylamaya yardımcı olacaktır. Hacimsel buharlaşma verileri DSİ tarafından sağlanmış ve simülasyonda doğrudan kullanılmıştır.

Sedimentasyon için, giriş akımının mevsimsel değişiminden etkilenen aylık sediment oranları, aşağıdaki gibi verilen basit bir ayrıştırma şeması kullanılarak, yıllık sedimentasyon oranlarından elde edilmiştir:

$$S_{r,m} = S_{r(annual)} \left(\frac{MR_m}{MAR} \right); m = 1,2,\dots,12 \quad (6.1)$$

Eşitlikte $S_{r,m}$ m ayı için sedimentasyon oranı (hm^3), S_r (yıllık) Çizelge 6.2’deki ortalama yıllık sedimentasyon oranı (hm^3), MR_m m ayı için ortalama akış (hm^3) ve MAR Çizelge 4.4’deki ortalama yıllık akıştır (hm^3). Ayrıştırılmış sedimentasyon oranları Çizelge 4.12’de MR_m değerleri ile birlikte sunulmuştur. Çizelge 4.12 incelendiğinde, yağışlardan dolayı nehir akımının yüksek olduğu kış ve bahar aylarında (Aralık-Mayıs) rezervuara taşınan sediment miktarının diğer aylara göre daha fazla olduğu görülmektedir.

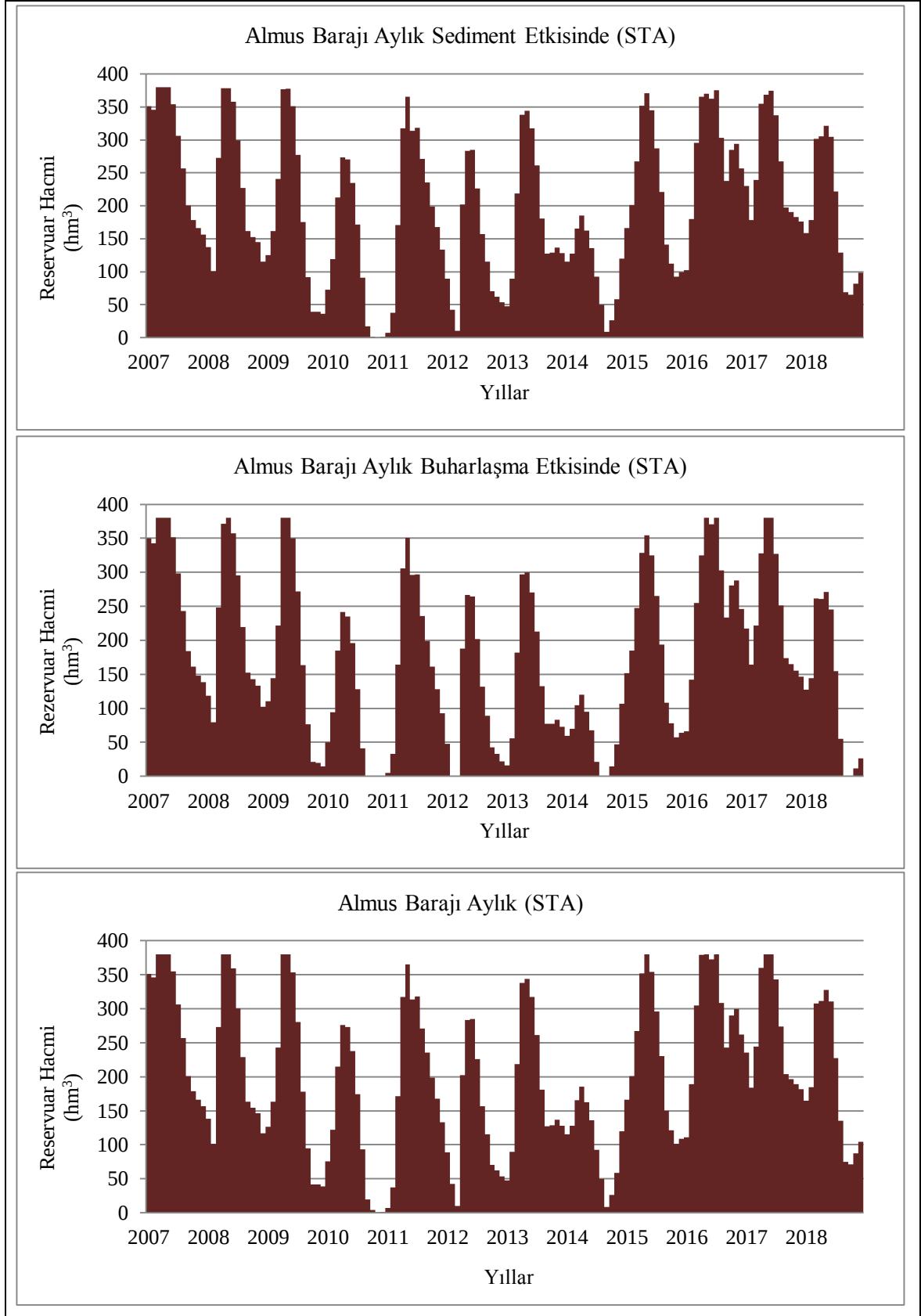
Çizelge 6.2. Yıllık sediment değerleri

Baraj Adı	K_a (1980) hm^3	K_a (2014) hm^3	Azalma hm^3	S_r (yıllık) hm^3
Alaca	10,3	9,12	1,18	0,033
Çorum	6,1	5,424	0,676	0,02
Yenihayat	25,36	22,62	2,74	0,08
Almus	813	790,78	22,22	0,63
Çakmak	76,5	70,48	6,02	0,23
Hasan Uğurlu	660	556,16	103,84	2,97
Yedikır	54	49,57	4,43	0,13

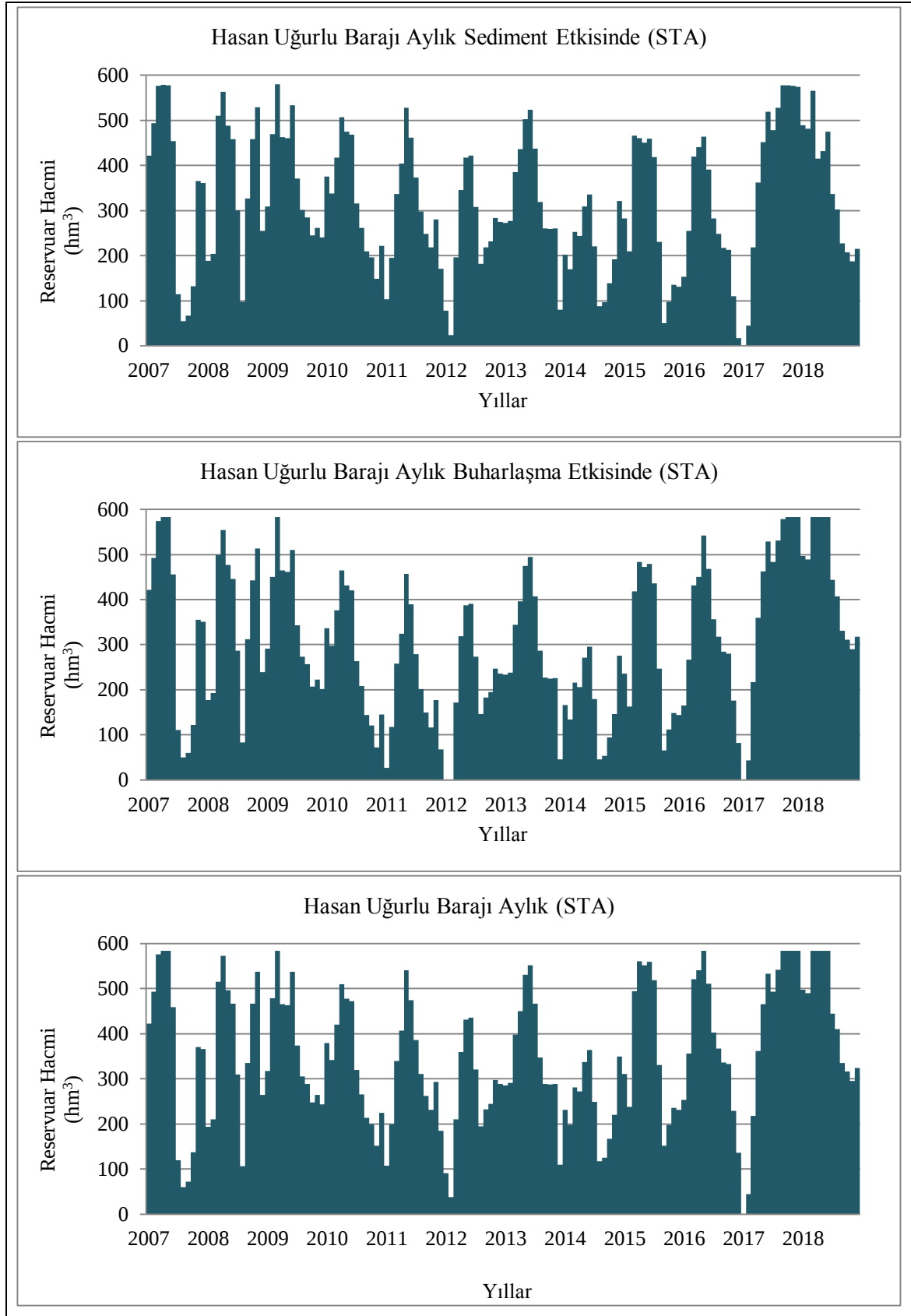
K_a = Rezervuarın aktif hacmi, S_r = Birikme miktarı

Buharlaşma ve sedimentasyon etkisi altındaki rezervuar depolama kapasitelerinin zamana bağlı grafikleri hem STA ile hesaplanan hem de DSI'den elde edilen rezervuar kapasiteleri için aşağıda gösterilmiştir. Grafiklerde, rezervuarın boş olduğu bölgeler (hacim sıfır) rezervuarın eksikliğini temsil eder. Eğer rezervuar kapasitesi tahmini doğruysa ve talep artmadıysa, davranış simülasyonunun böyle bir eksiklik üretmemesi beklenmektedir. Ancak, şekil 6.8-6.21'de eksikliklerin meydana gelmesi, rezervuar işletme performansı üzerinde buharlaşma ve sedimentasyonun ek etkilerinin olduğunun bir göstergesidir.

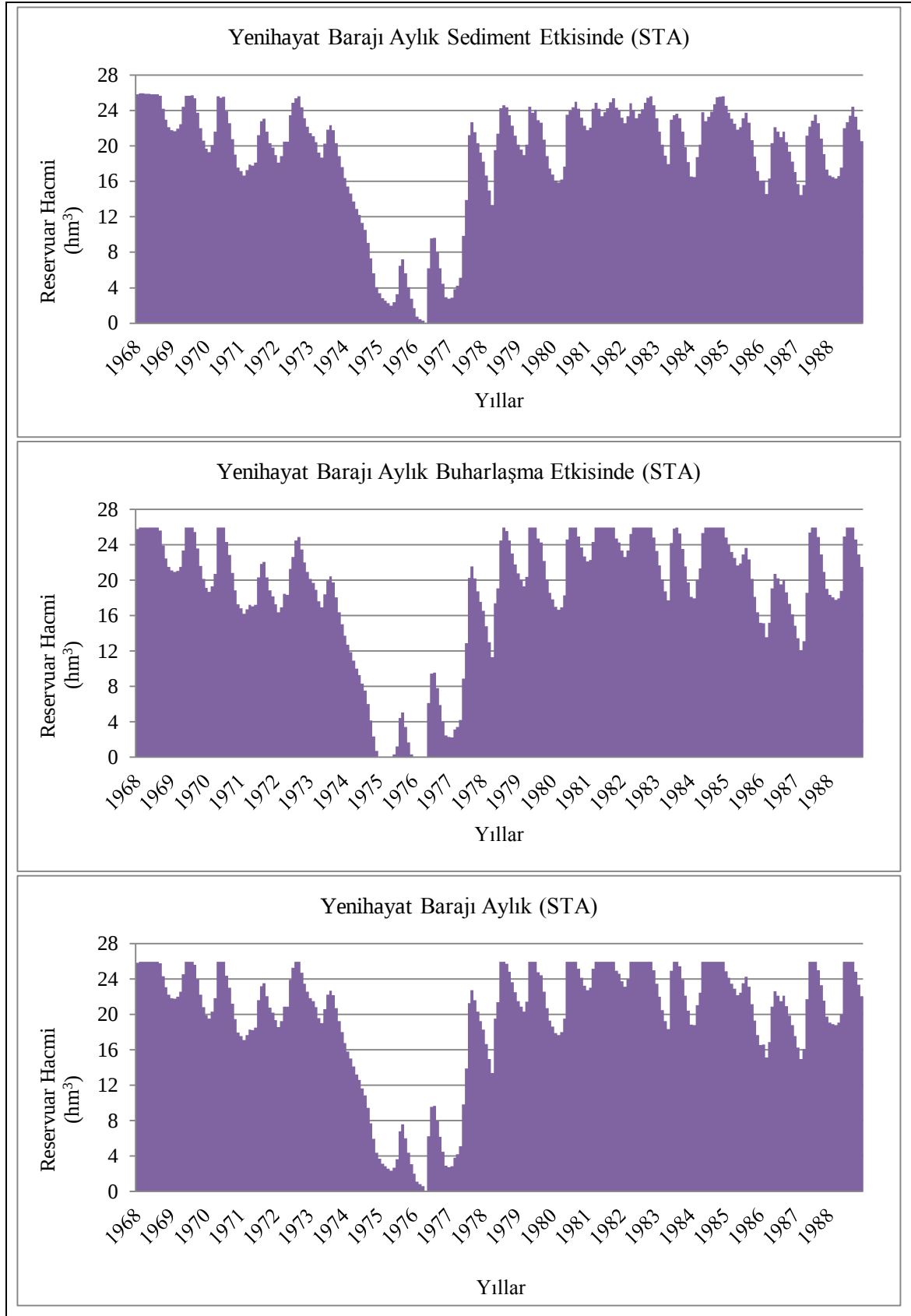
Tüm rezervuarlar için elde edilen performans indislerinin tamamı sıralı olarak izelge 6.3'de sunulmuştur; fakat, gelecek tartışmalar rezervuar işletme performansının en önemli üç indisleri; zamana ve hacme bağlı güvenilirlik ve maksimum su eksikliği indisleri ile sınırlandırılmıştır. Beklendiği gibi, buharlaşmanın ve sedimentin ek etkileri göz ardı edildiğinde, güvenilirlik değerleri neredeyse aynıdır, herhangi bir eksiklik yoktur. Özellikle bu durum iki kapasite tahmininde bir uyumsuzluk olmadığı zamanki her bir rezervuar kapasite tahmini için geçerlidir. Buna ek olarak, eksiklik olmadığı için bu durumlarda maksimum eksiklik değeri de sıfırdır.



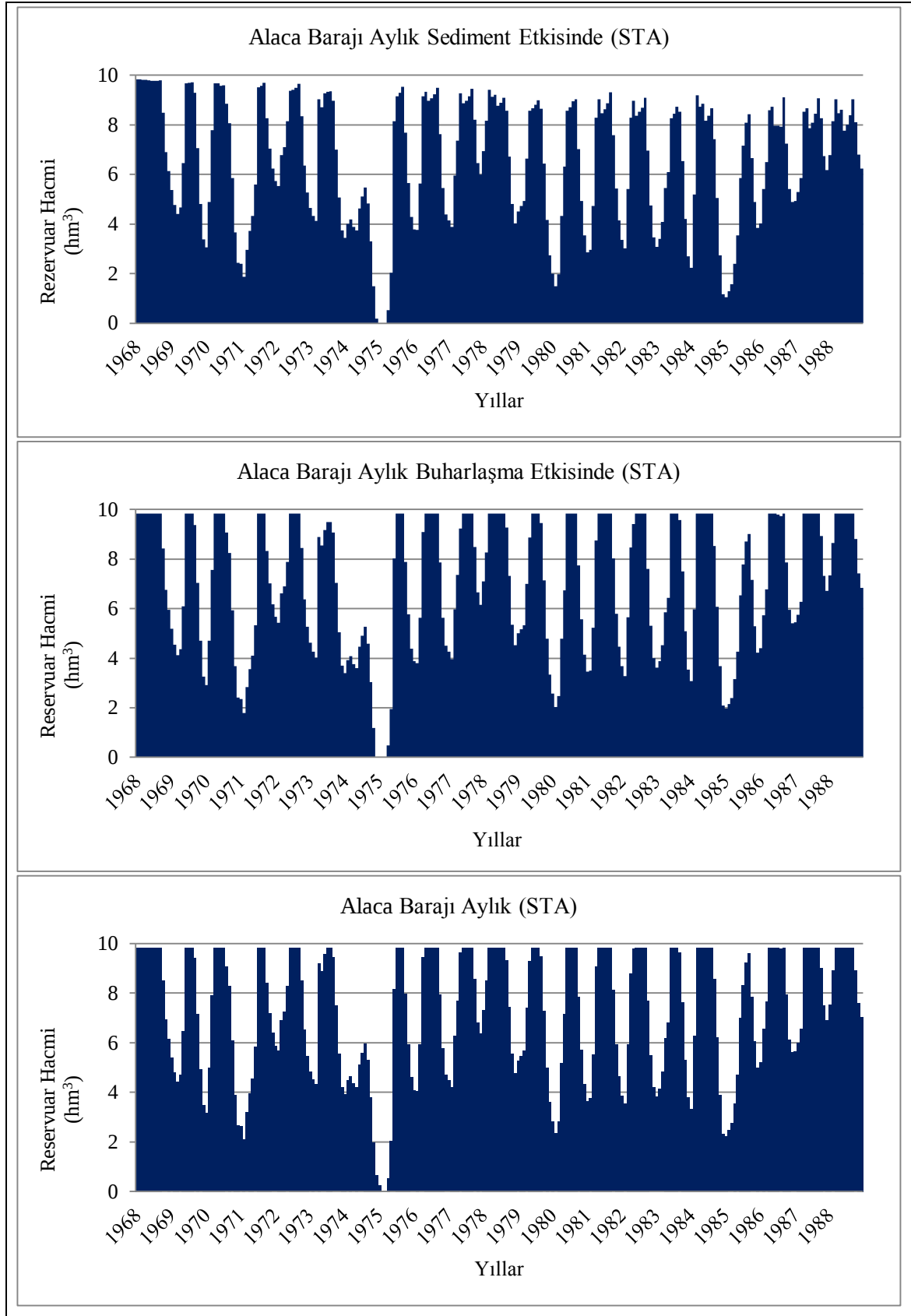
Şekil 6.8. Almus rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi



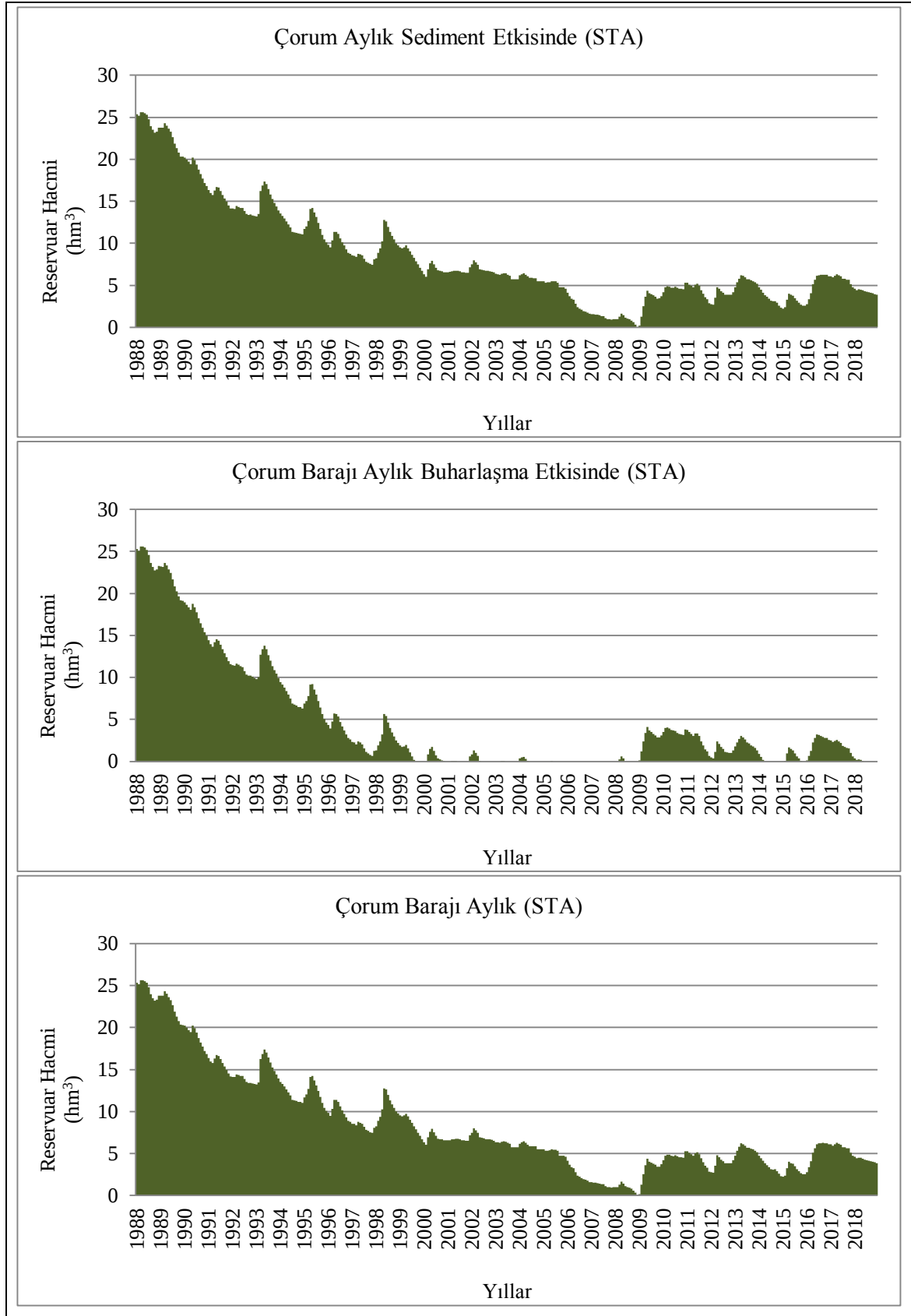
Şekil 6.9. Hasan Uğurlu rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi



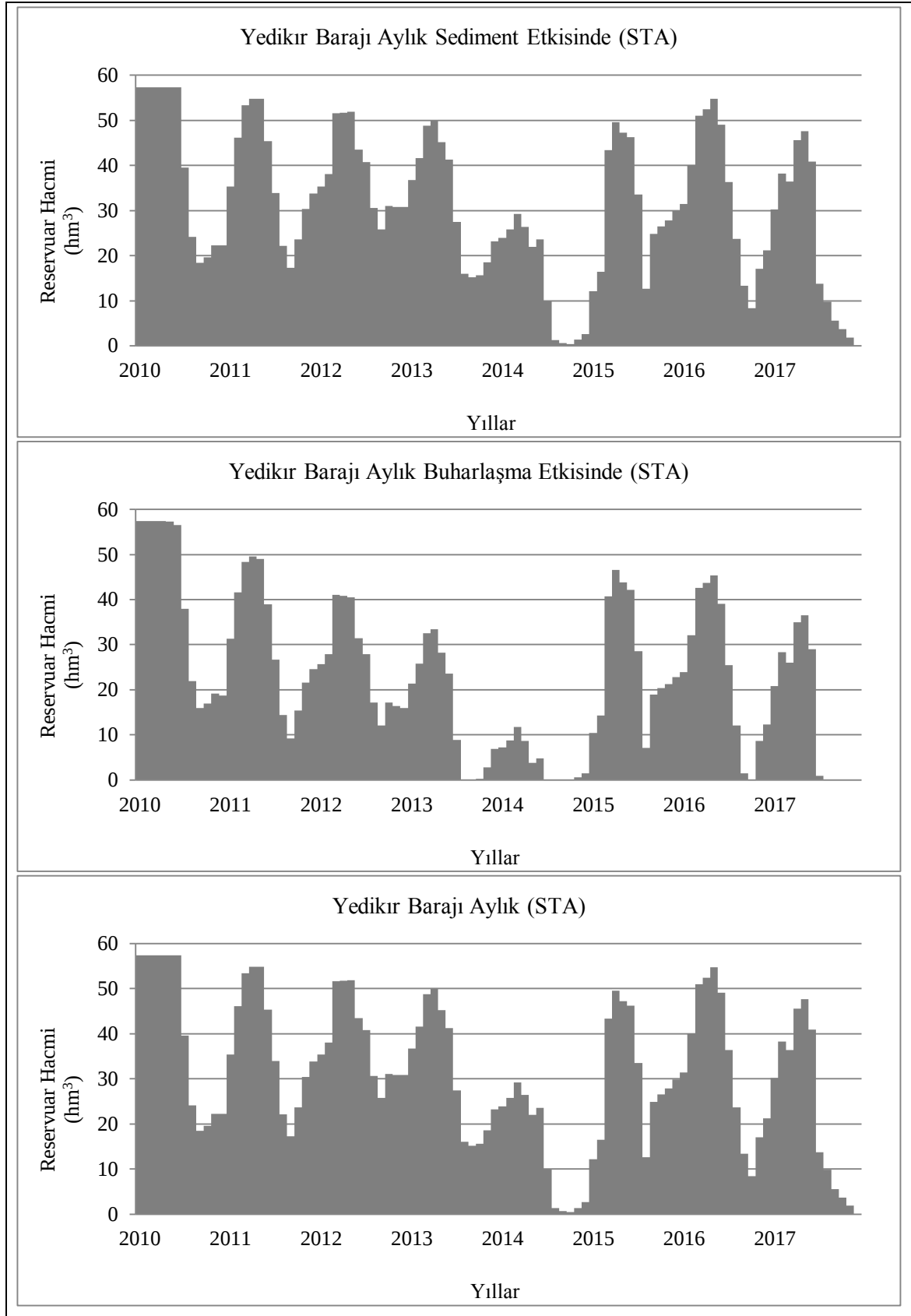
Şekil 6.10. Yenihayat rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi



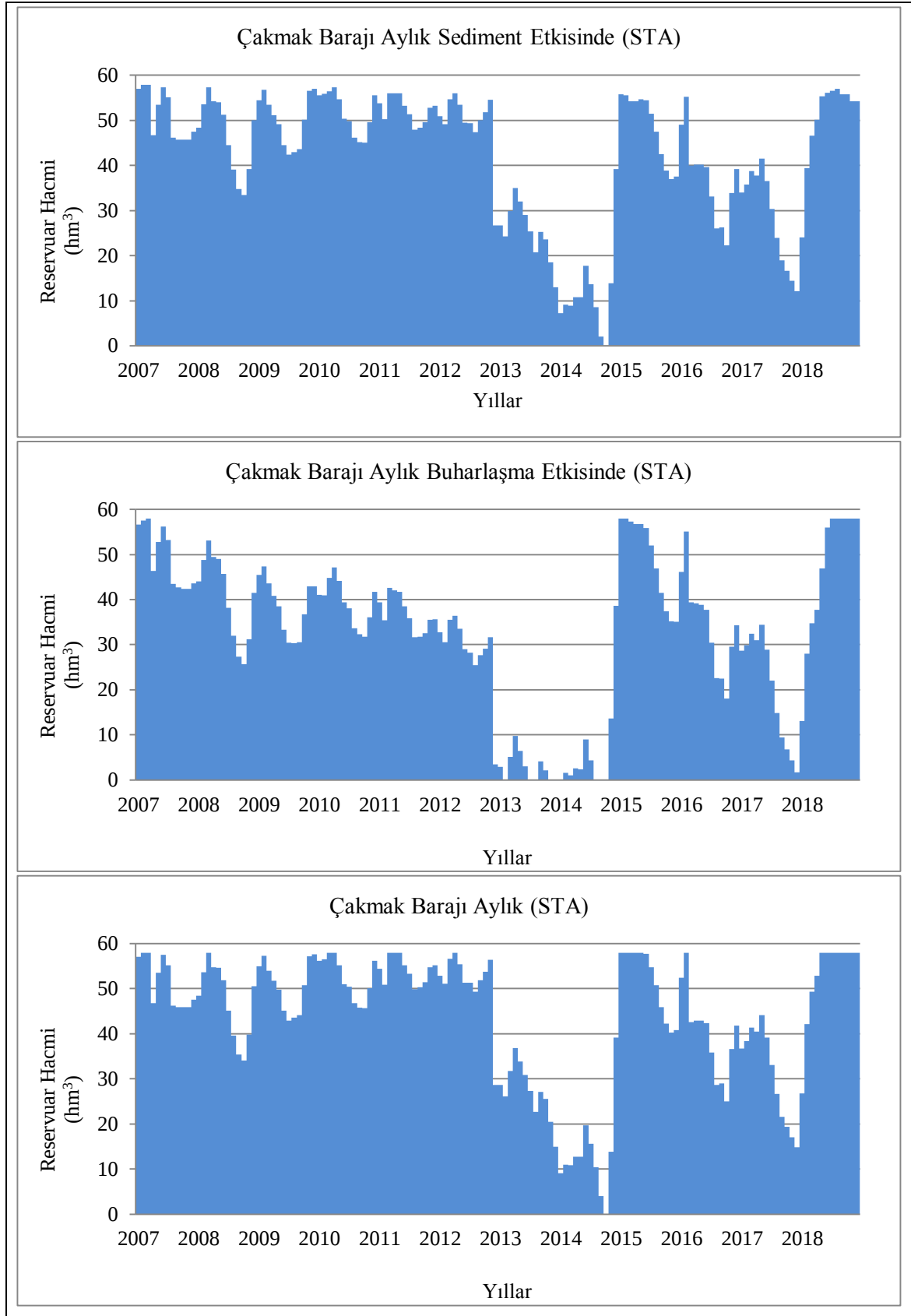
Şekil 6.11. Alaca rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi



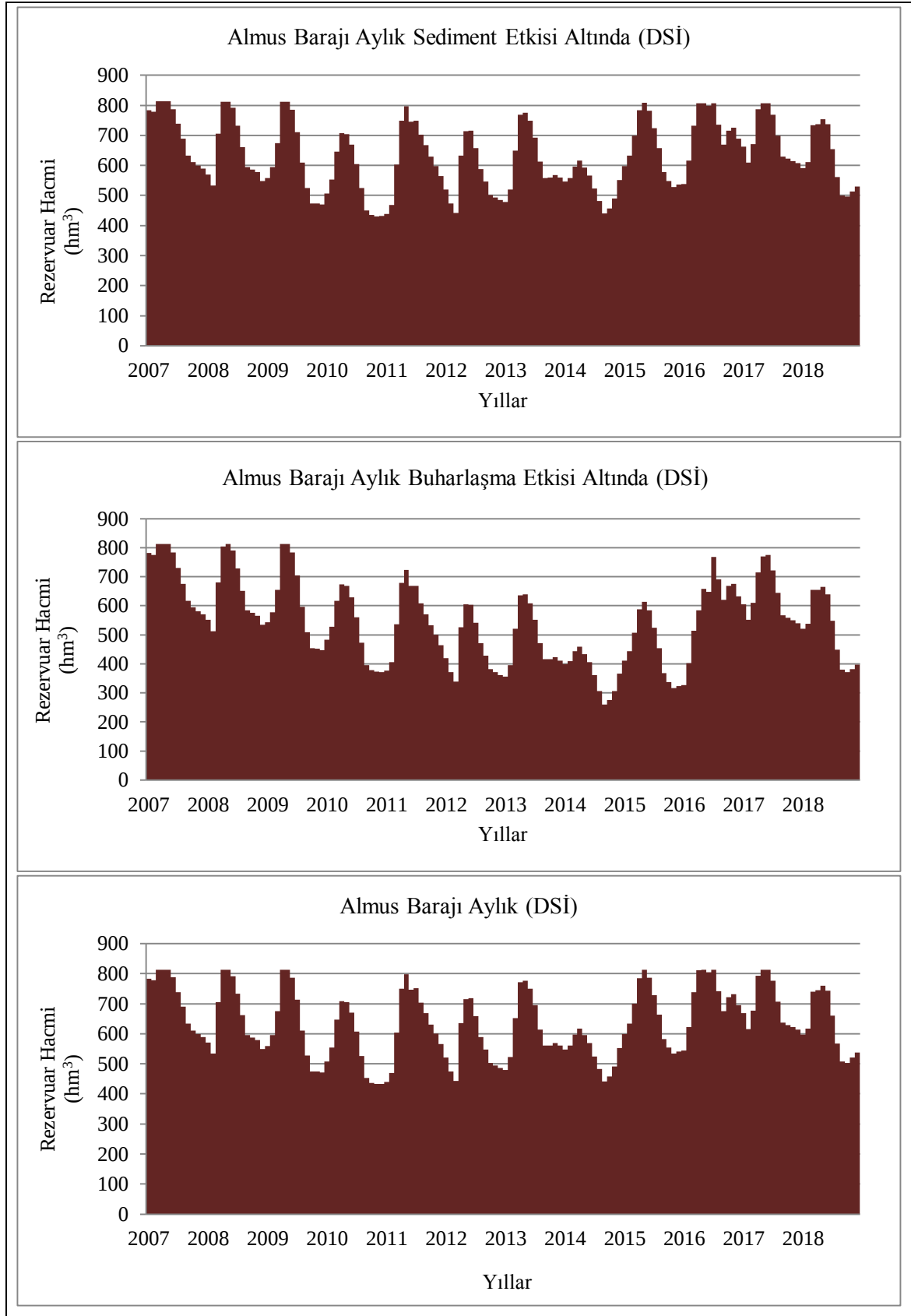
Şekil 6.12. Çorum rezervuarının sediment ve buharlaştırma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi



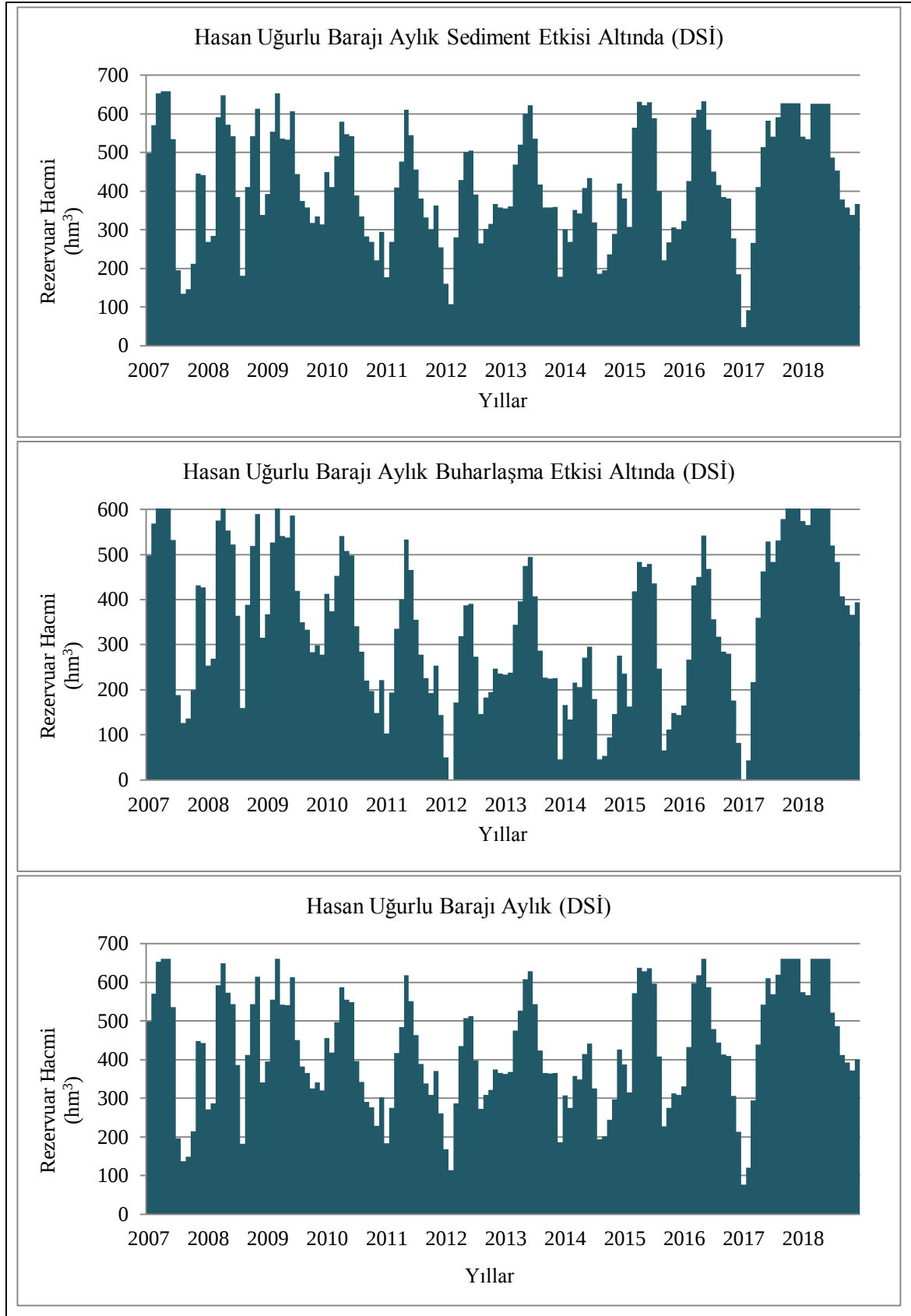
Şekil 6.13. Yedikır rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi



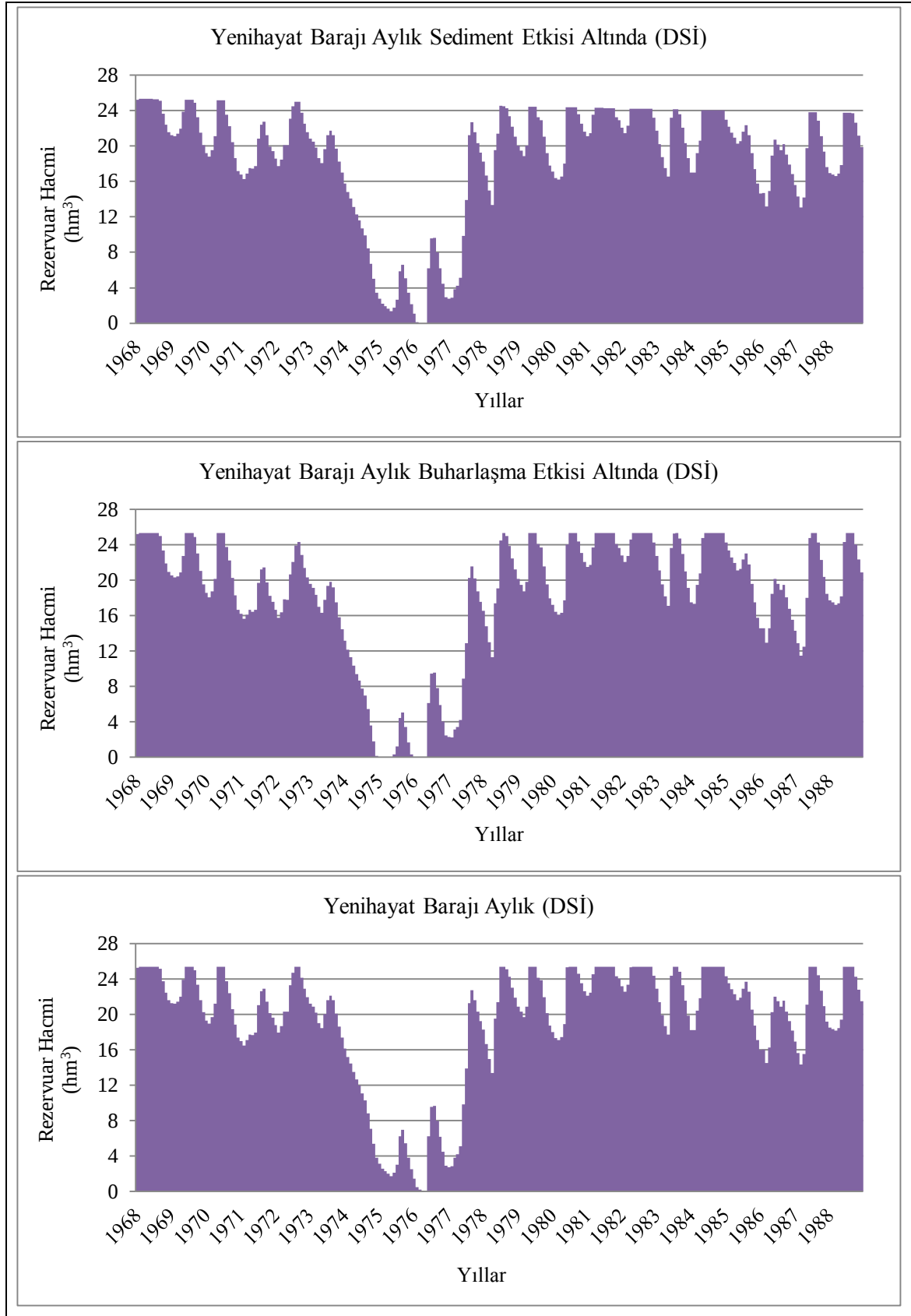
Şekil 6.14. Çakmak rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi



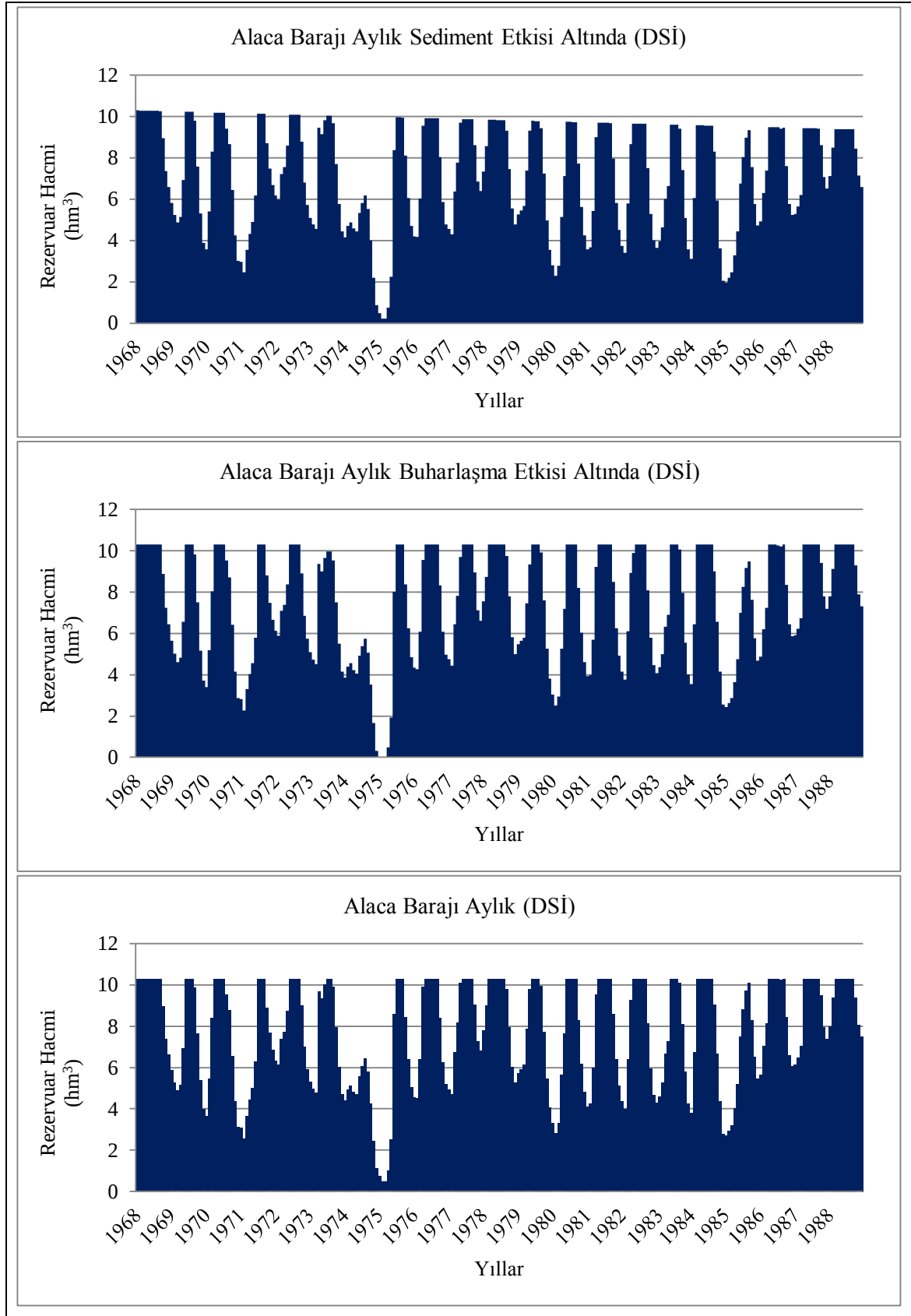
Şekil 6.15. Almus rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ)



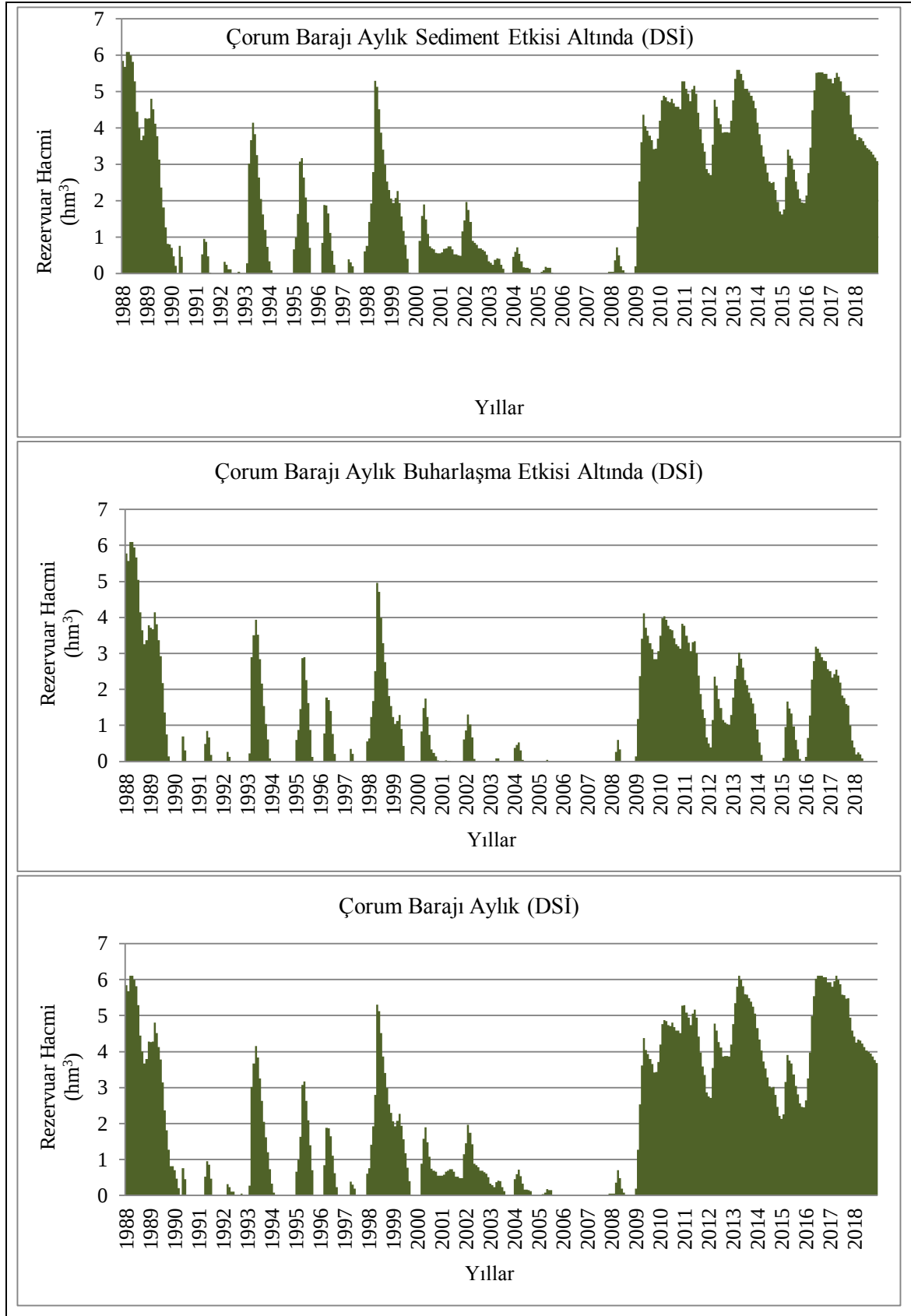
Şekil 6.16. Hasan Uğurlu rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ)



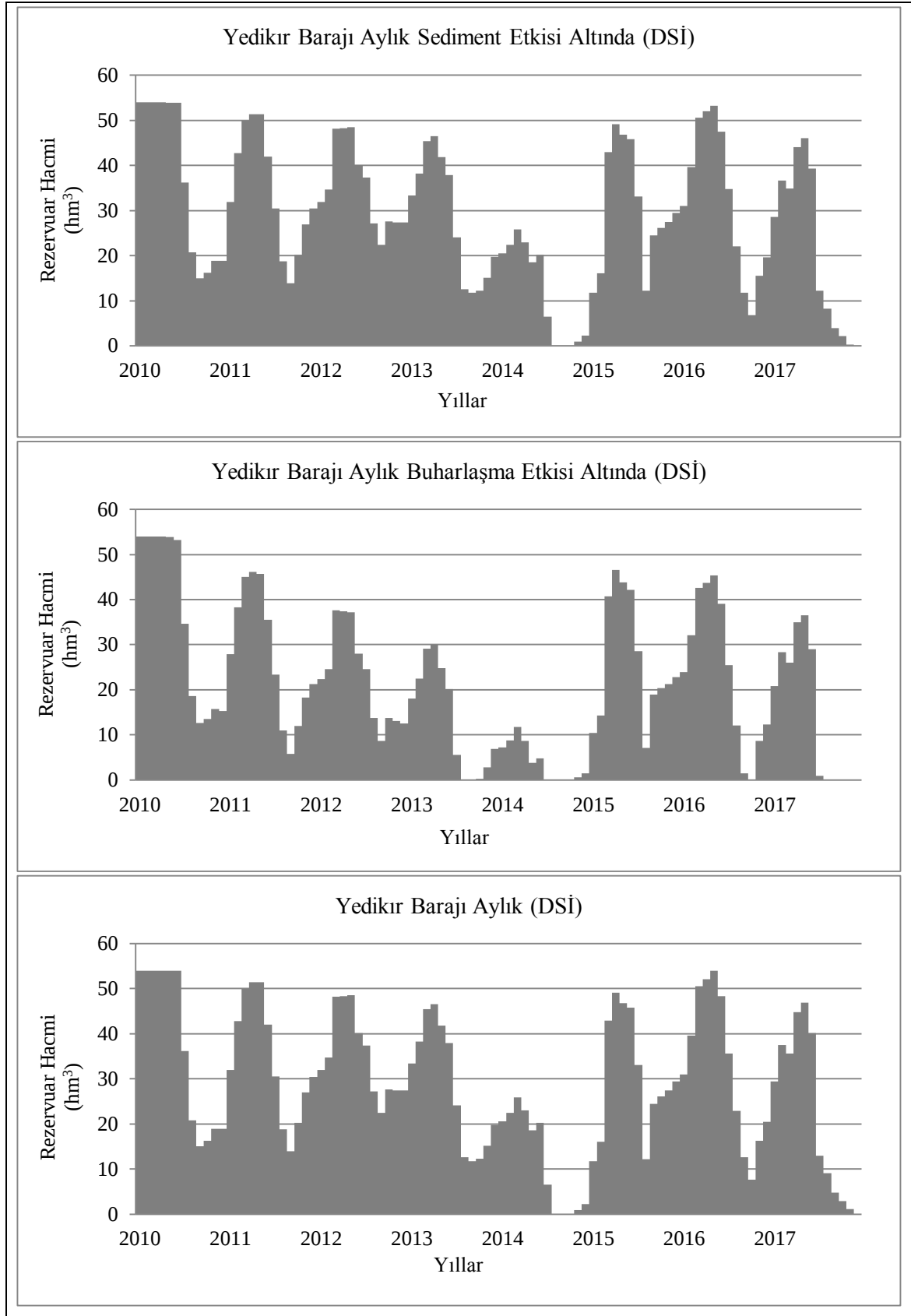
Şekil 6.17. Yenihayat rezervuarının sediment ve buharlaştırma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ)



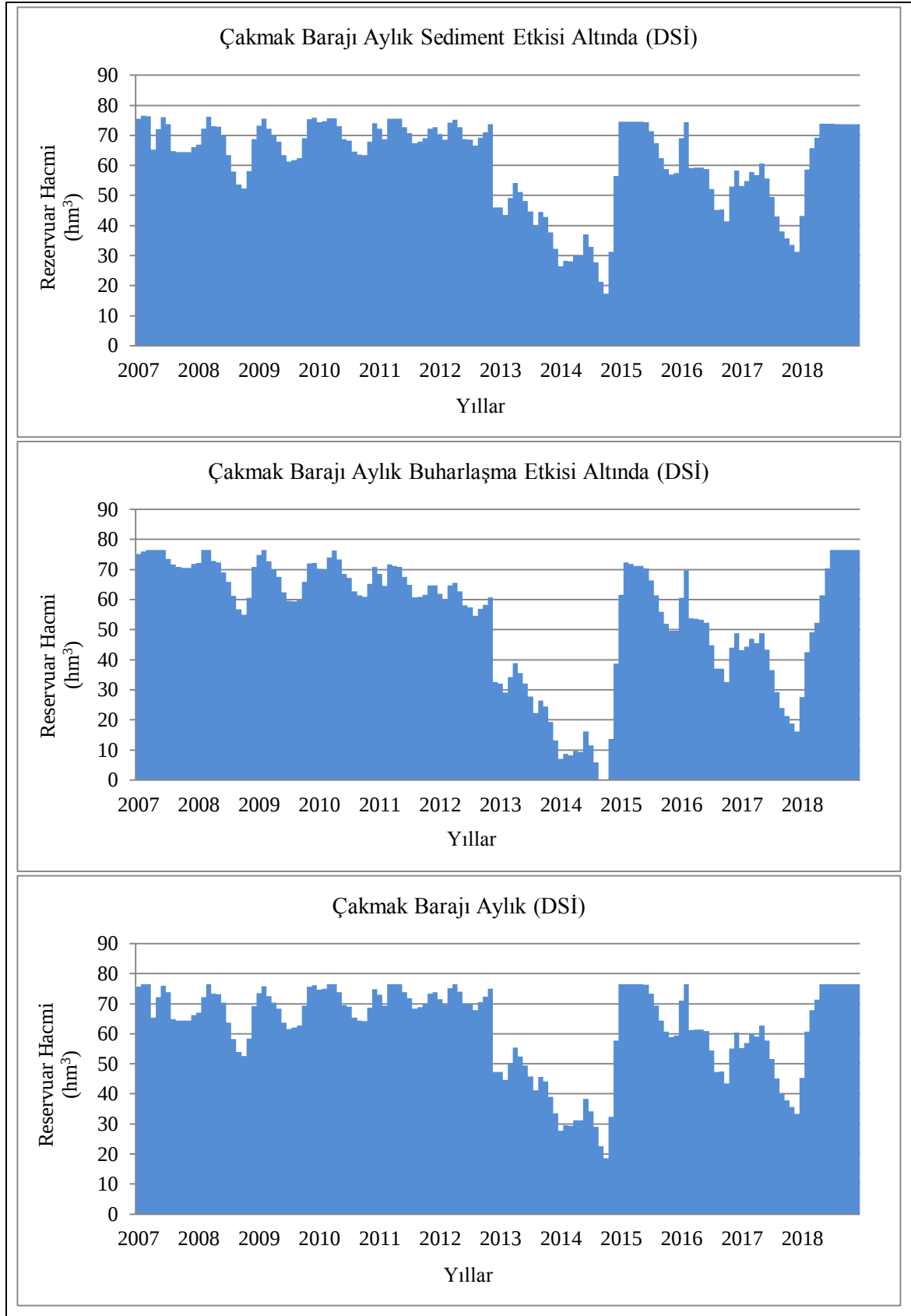
Şekil 6.18. Alaca rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ)



Şekil 6.19. Çorum rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ)



Şekil 6.20. Yedikır rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ)



Şekil 6.21. Çakmak rezervuarının sediment ve buharlaşma etkisi altında zamana göre hacimsel değişimi (DSİ)

Çizelge 6.3. Davranış analizi simülasyonu sonuçları

ALACA	Aylık Güven %	Hacimsel Güven %	İyileşme	Eksiklik (hm ³)	Boyutsuz Eksiklik	Sürd. (1)	Sürd. (2)
Aylık (STA)	99,21	100,00	0,50	0,00	0,00	79,26	79,37
Aylık (DSİ)	100,00	100,00	-	-	-	-	-
Sediment Etkisi (STA)	98,8	99,93	0,33	0,26	0,19	64,6	64,69
Sediment Etkisi (DSİ)	99,2	100,00	0,5	0,02	0,01	78,88	78,99
Buharlaşma Etkisi (STA)	98,41	99,77	0,25	0,40	0,29	56,15	56,22
Buharlaşma Etkisi (DSİ)	98,80	99,90	0,33	0,26	0,19	64,60	64,69
ALMUS	Aylık Güven %	Hacimsel Güven %	İyileşme	Eksiklik (hm ³)	Boyutsuz Eksiklik	Sürd. (1)	Sürd. (2)
Aylık (STA)	99,31	100,00	1,00	0,00	0,00	99,87	100,00
Aylık (DSİ)	100,00	100,00	-	-	-	-	-
Sediment Etkisi (STA)	99,31	99,98	1,00	2,65	0,05	98,25	98,38
Sediment Etkisi (DSİ)	100,00	100,00	-	-	-	-	-
Buharlaşma Etkisi (STA)	94,4	98	0,5	6,98	0,13	75,79	75,89
Buharlaşma Etkisi (DSİ)	100	100	-	-	-	-	-
ÇAKMAK	Aylık Güven %	Hacimsel Güven %	İyileşme	Eksiklik (hm ³)	Boyutsuz Eksiklik	Sürd. (1)	Sürd. (2)
Aylık (STA)	99,31	100,00	1,00	0,00	0,00	99,87	100,00
Aylık (DSİ)	100,00	100,00	-	-	-	-	-
Sediment Etkisi (STA)	99,31	99,79	1,00	1,91	0,30	88,63	88,75
Sediment Etkisi (DSİ)	100,00	100,00	-	-	-	-	-
Buharlaşma Etkisi (STA)	94,44	96,63	0,38	1,88	0,30	64,06	64,14
Buharlaşma Etkisi (DSİ)	97,20	98,40	0,50	2,41	0,38	67,58	67,67
ÇORUM	Aylık Güven %	Hacimsel Güven %	İyileşme	Eksiklik (hm ³)	Boyutsuz Eksiklik	Sürd. (1)	Sürd. (2)
Aylık (STA)	99,73	100,00	1,00	0,00	0,00	99,87	100,00
Aylık (DSİ)	75,50	79,50	0,14	0,03	0,12	50,05	50,11
Sediment Etkisi (STA)	99,73	99,99	1,00	0,02	0,08	97,19	97,32
Sediment Etkisi (DSİ)	75,50	79,50	0,15	0,03	0,10	51,58	51,65
Buharlaşma Etkisi (STA)	75,81	87,15	0,14	0,02	0,07	51,11	51,18
Buharlaşma Etkisi (DSİ)	59,90	70,20	0,15	0,01	0,06	51,79	51,86
HASAN UĞURLU	Aylık Güven %	Hacimsel Güven %	İyileşme	Eksiklik (hm ³)	Boyutsuz Eksiklik	Sürd. (1)	Sürd. (2)
Aylık (STA)	99,31	100,00	1,00	0,00	0,00	99,87	100,00
Aylık (DSİ)	100,00	100,00	-	-	-	-	-

Çizelge 6.3. (devam) Davranış analizi simülasyonu sonuçları

Sediment Etkisi (STA)	99,31	99,93	1,00	119,57	0,11	96,2	96,33
Sediment Etkisi (DSİ)	99,31	100,00	1	43,07	0,04	98,58	98,71
Buharlaşma Etkisi (STA)	97,92	99,92	0,67	26,88	0,02	86,54	86,66
Buharlaşma Etkisi (DSİ)	98,60	100,00	1,00	14,27	0,01	99,44	99,58
YEDİKIR	Aylık Güven %	Hacimsel Güven %	İyileşme	Eksiklik (hm ³)	Boyutsuz Eksiklik	Sürd. (1)	Sürd. (2)
Aylık (STA)	98,96	100,00	1,00	0,00	0,00	99,87	100,00
Aylık (DSİ)	95,80	99,00	0,50	0,71	0,19	73,86	73,96
Sediment Etkisi (STA)	98,96	99,98	1,00	0,02	0,01	99,69	99,82
Sediment Etkisi (DSİ)	95,80	98,9	0,50	0,77	0,21	73,34	73,46
Buharlaşma Etkisi (STA)	87,50	89,26	0,33	1,20	0,33	60,73	60,81
Buharlaşma Etkisi (DSİ)	87,50	88,30	0,33	1,41	0,38	58,97	59,05
YENİHAYAT	Aylık Güven %	Hacimsel Güven %	İyileşme	Eksiklik (hm ³)	Boyutsuz Eksiklik	Sürd. (1)	Sürd. (2)
Aylık (STA)	99,60	100,00	1,00	0,00	0,00	99,87	100,00
Aylık (DSİ)	99,60	99,90	1,00	0,59	0,35	86,58	86,70
Sediment Etkisi (STA)	99,60	99,91	1,00	0,35	0,21	92,45	92,57
Sediment Etkisi (DSİ)	98,80	99,80	0,33	0,63	0,37	59,30	59,38
Buharlaşma Etkisi (STA)	96,43	99,04	0,22	0,36	0,21	55,89	55,97
Buharlaşma Etkisi (DSİ)	96,00	98,90	0,20	0,37	0,22	53,83	53,90

Almus, Çorum ve Çakmak Rezervuarlarında olduğu gibi STA ile hesaplanan ve DSİ'den alınan kapasite tahminleri arasında farklılıklar olduğu durumlarda ve bununla birlikte, rezervuar kapasitesi de yetersiz tasarlandıysa, tahmini güvenilirlik değerleri farklılık göstermiştir. Örneğin, Çorum Rezervuarı için DSİ kapasitesi yalnızca % 75,5'lik bir zamana dayalı güvenilirlik üretmiştir; bu değer STA ile hesaplanan kapasite tahmini ile kıyaslandığında güvenilirliğin % 99,73 olduğu görülmüştür. DSİ kapasitesindeki tahmini maksimum eksiklik rezervuar kapasitesinin %12'sine eşit olacak şekilde yüksek iken, STA kapasitesindeki ilgili değer sıfırdır. Çizelge 6.3'deki diğer bir çarpıcı sonuç Almus Barajını ilgilendirmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi, DSİ'den elde edilen kapasite değeri 813 hm³, STA'dan elde edilen kapasite değerinin (380 hm³) iki katından fazladır. Ancak, Çizelge 6.3'de görüldüğü gibi, her iki kapasite için de güvenilirlik değeri %100'e yakındır. Bu da, DSİ tasarımının bölgedeki sulama ihtiyacını karşılamak için gereğinden fazla büyük olduğunun bir göstergesidir. Çakmak Barajı için de benzer bir durum söz konusudur. DSİ'den alınan ve STA ile hesaplanan kapasiteler karşılaştırıldığında belirgin biçimde

büyük olan DSİ kapasitesi sonuçta STA kapasitesinden daha yüksek bir güvenilirlik vermemiştir.

Simülasyonda sediment etkisi göz önüne alındığında, güvenilirlik tüm barajlar için ya çok az azalmış ya da hiç değişmemiştir. Örneğin, DSİ'den alınan kapasite değerine göre güvenilirlik %100 (sediment haricinde) veya %99,2 (sediment etkisinde) iken STA ile hesaplanan kapasitede güvenilirlik %99,21 (sediment hariç) ve %98,8'dir (sediment etkisinde). Daha önce belirtildiği gibi DSİ'den alınan kapasitenin çok az boyutta olduğu Çorum'da, sedimantasyonun değerlendirilmesi sonucunda, güvenilirlik sedimantasyon etkisi ile birlikte veya olmadan % 75,5 olarak kaldığından rezervuardaki sediment birikimi işletme performansının daha da bozulmasına neden olmamıştır. Sedimantasyonun dahil edilmesi ile başka eksiklikler oluşmadığından, sediment yükü dahil edilmeden önceki eksiklikler ile sonraki eksiklikler aynıdır. Buna ek olarak, sedimentli ve sedimentsiz maksimum eksiklik değeri %0 ile %25 arasında olduğu için, birçok su kullanıcısı tarafından özellikle sulama için tolere edilebilirdir [37].

Buharlaşmanın dahil edilmesiyle sediment etkisi ile karşılaştırıldığında hem güvenilirlikte hem de maksimum eksiklik miktarında çok daha büyük etkisinin olduğu gözlenmiştir. Bu detayların tamamı Çizelge 6.3'de de gösterilmiştir; bununla birlikte, DSİ ve STA kapasite değerleri benzerlik gösteren Yenihayat ve Alaca Barajlarının sonuçları bu durumu örneklemek amacıyla kullanılacaktır. Örneğin, Yenihayat Barajının zamana bağlı güvenilirliği buharlaşma olmadan %100 iken, buharlaşma ile %96,4'e düşmüştür, ancak hacimsel güvenilirlik hala %99'dur. Alaca Barajı analizinde de, benzer bir sonuç vermiştir; zamana bağlı güvenilirliği %100'den %98,4'e düşmüştür, ancak hacimsel güvenilirliği değişmemiştir. Alaca'daki boyutsuz eksiklik buharlaşma ile %29'a gerilemiştir; bu, sedimantasyon ile kaydedilen %19'dan daha önemli bir yükselmedir. Yenihayat'ta buharlaşma ile boyutsuz eksiklik, sedimantasyon ile aynıdır.

Bu sonuçlar, buharlaşma ve sedimantasyon gibi ikincil işlemlerin rezervuarların planlanmasına ve işletme analizlerine dahil edilmesinin etkilerinin limitli olduğunu kanıtlama eğilimindedir. Buharlaşma iki rezervuarın performansını azalttığı halde, performans üzerindeki sedimantasyon etkisi güçlükle fark edilmiştir. Havzaların sediment verim karakteristiği, burada daha öncede belirtildiği gibi, aktif depolama kapasitesinin önemli bir kısmını rezervuarların tipik 50-100 yıllık kullanım ömrü boyunca tüketme

olasılığı düşük olan tortu birikim hızları ile bu sonuçlarda bir rol oynamış olabilir. Bununla birlikte, belki de çok daha yüksek bir tortu verimi sergileyen bir havza için, örneğin; Brezilya'da yarı kurak bir havza için sonuçlar farklı olabilir [55].

Her ne kadar buharlaşma, rezervuarların işletme performansı üzerinde sedimantasyondan daha büyük etkiler yaratsa da, bu etkiler de çok büyük değildir. Bunun için iki olası sebep eklenebilir. Birincisi, daha önce belirtildiği gibi, buharlaşma miktarının rezervuarlar tarafından sunulan su tüketimi taleplerinden çok daha az olduğunu için, planlama analizindeki buharlaşma miktarını içerme konusundaki eksiklik, sonraki performans üzerinde büyük etkiler yaratmamıştır. Diğer bir sebep de, bu analizde brüt buharlaşma yerine net buharlaşma dikkate alınmıştır. Net buharlaşmada, rezervuar yüzeyindeki doğrudan yağmur miktarı düşülerek brüt buharlaşmanın etkisi azaltılır ve rezervuar yüzeyindeki buharlaşma akımlarının ele alınması için doğru bir yaklaşımdır. Böyle bir işlem olmadan, buharlaşma kaybı çok yüksek olacaktır (bkz. Araujo ve diğerleri, 2006) ve bu çok doğru bir yaklaşım değildir [55].

6.3. WEAP Modeli Rezervuar Kapasitesi Kalibrasyonu

DSİ tarafından ölçülen rezervuar kapasitesi değerlerinin, davranış analizi sonuçları ve WEAP sonuçları ile karşılaştırılabilmesi için DSİ'den elde edilen rezervuarların su depolama kapasiteleri dikkate alınmıştır. Davranış analizi ve WEAP modelinin karşılaştırılması için giriş akımı olarak WEAP modelinin kalibre ettiği değerler kullanılmıştır. Buharlaşma ve yağış verileri yükseklik (mm) cinsinden modele girilmiştir. Modelde kot-hacim eğrilerinden yararlanılarak hacimsel net buharlaşmalar (buharlaşma-yağış) elde edilmiştir. Davranış analizi ve WEAP modelinde kullanılan aylık ortalama net hacimsel buharlaşma değerleri Veriler başlığı altında Çizelge 4.10-4.11'de verilmiştir. Her bir barajın ölçümlere, davranış analizini simülasyonuna ve WEAP modeline göre performansları tek bir grafik üzerinde karşılaştırılmıştır. Davranış analizi ve WEAP modeli su talebi karşılama sonuçlarına göre kalibre edilmiştir. Ayrıca R^2 (Pearson çarpım moment korelasyon katsayısının karesi) ile barajın zamana bağlı hacimsel değişimi sonuçlarının uyumu gözlenmiştir. Korelasyon katsayısının hesaplanması Eşitlik 6.2'de belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlardaki R^2 değerleri Çizelge 6.4-6.5'de gösterilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, her iki analiz için de elde edilen rezervuardan salınan su miktarı çıktıları birbirleri ile uyum içerisinde. Barajların aylık kapasite değişimleri Şekil 6.22-6.27'de verilmiştir. Grafikler

incelendiğinde, rezervuarların ölçülmüş değerleri ile hem WEAP sonuçlarının hem de davranış analizi sonuçlarının yakınlık gösterdiği görülmektedir. Davranış analizi ile WEAP modeli arasında oluşan rezervuar kapasitesi farklılıklarının temel nedenlerinin buharlaşma verilerinin elde edilme yöntemleri ve daha öncede belirtildiği gibi simülasyonlarda kullanılan farklı işletme politikaları olduğu düşünülmektedir. Ölçüm değerleri ile analiz değerlerinin farklılıklarına da buharlaşma verisi eksikliklerinin, hesaplama hatalarının ve veri periyodu farklılıklarının neden olduğu tahmin edilmektedir. Eksik buharlaşma verilerinin yerine aylık ortalama buharlaşma verilerinin kullanılması bunun bir nedeni olarak gösterilebilir. Ayrıca, DSI'nin hacimsel buharlaşma verilerini nasıl elde ettiği ve hangi hesaplama ve ölçüm yöntemlerinin kullanıldığı net olarak bilinmemektedir. Bu da, analiz, model ve ölçülen değerler arasındaki farklılıklara sebebiyet vermektedir.

$$R = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (6.2)$$

Çizelge 6.4. Su temini R^2 sonuçları

Baraj İsimleri	Davranış Analizi ve WEAP modeli arasındaki su temini R^2 değerleri
Alaca	0,99
Almus	0,94
Çorum	1,00
Çakmak	0,91
Yenihayat	1,00
Yedikır	0,96

Çizelge 6.5. Rezervuar kapasiteleri R^2 sonuçları

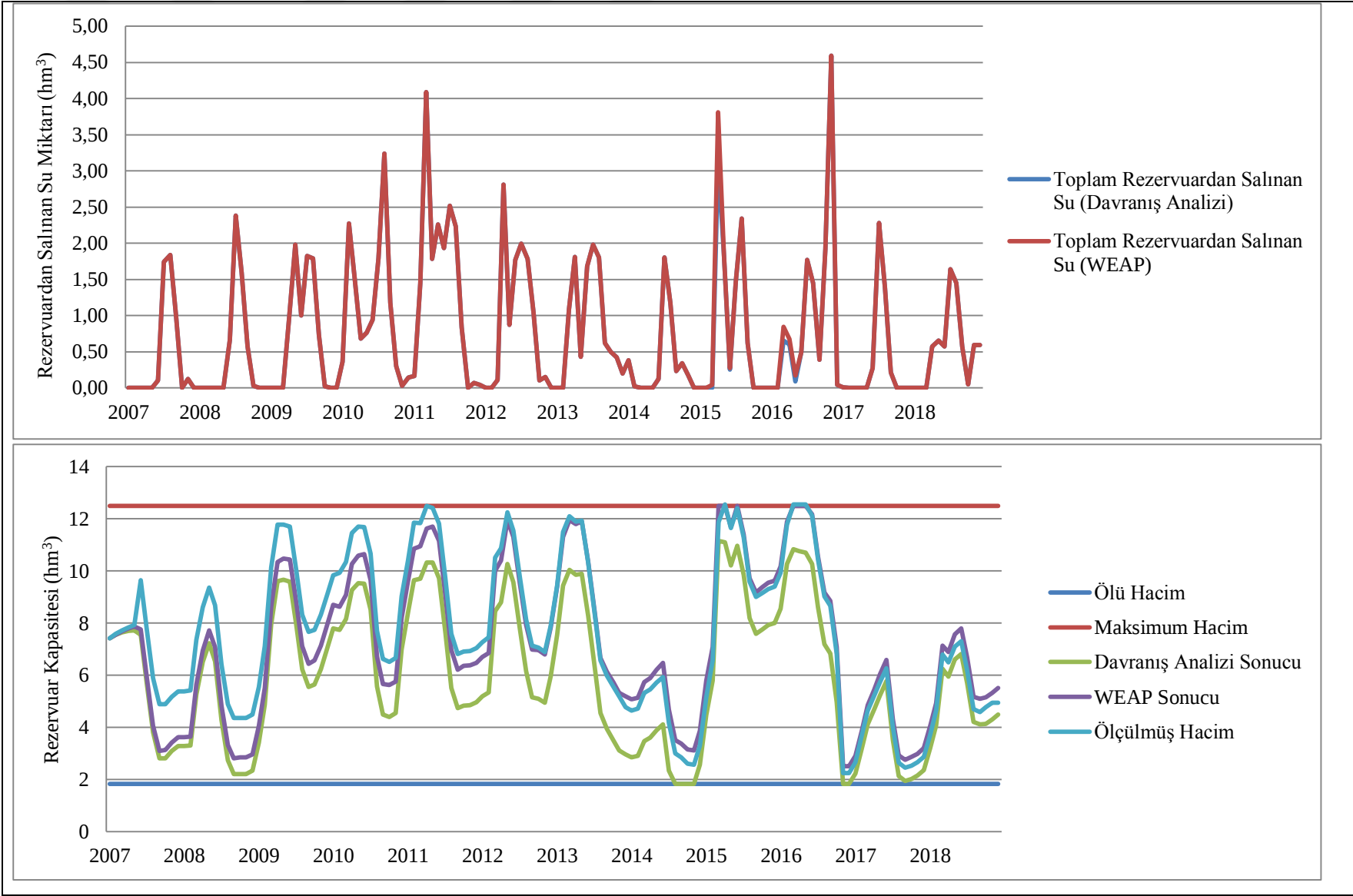
Baraj İsimleri	Davranış analizi ve WEAP modeli arasındaki R^2	Davranış analizi ve ölçülmüş veriler arasındaki R^2	WEAP modeli ve ölçülmüş değerler arasındaki R^2
Alaca	0,96	0,95	0,93
Almus	0,66	0,88	0,45
Çorum	0,88	0,91	0,99
Çakmak	0,95	0,92	0,93
Yenihayat	0,87	0,96	0,86
Yedikır	0,99	0,78	0,81

Çizelge 6.5'e bakıldığında Almus Barajı özelinde R^2 değerlerinde bir uyumsuzluk gözlenmektedir. Bu uyumsuzluğun temel nedeni olarak modelde ve simülasyonda

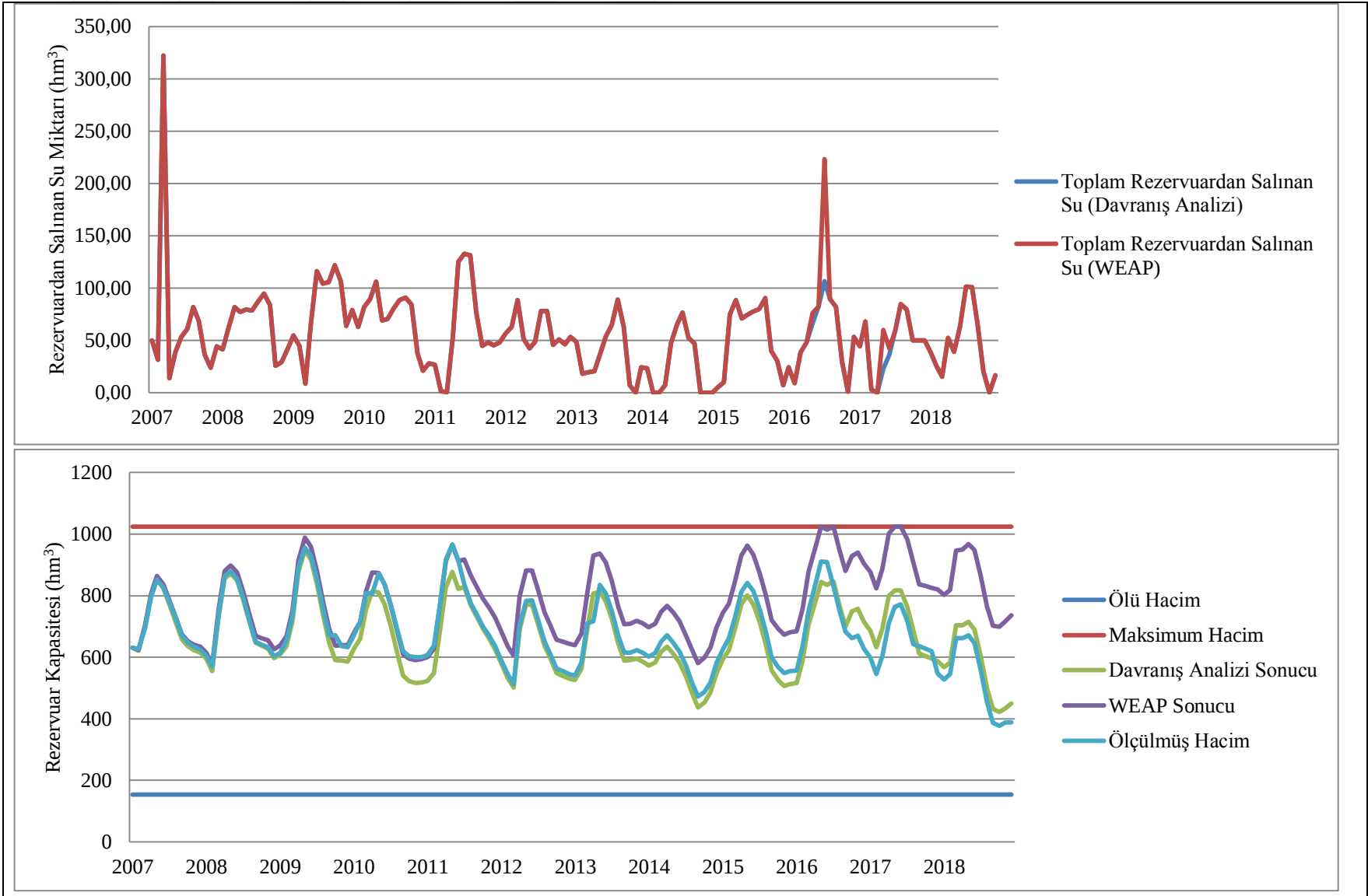
kullanılan buharlaşma verilerinin periyotları arasındaki farklılıklar gösterilebilir. WEAP modelinde yükseklik cinsinden kullanılan buharlaşma verilerinin periyodu 1961-2015 yılları arasındadır ve modelde o yıllara ait aylık ortalama buharlaşma değerleri kullanılmıştır. Davranış analizi simülasyonu ve DSİ işletme verilerinde ise 2007-2018 yılları arasındaki güncel aylık hacimsel buharlaşma verileri doğrudan kullanılmıştır. Giriş akımlarının aynı olduğu ve barajdan salınan su miktarının da simülasyon ve modelde benzerlik gösterdiği düşünüldüğünde rezervuar su kapasitesindeki uyumsuzluğun temel nedenini buharlaşma veri periyotlarındaki farklılık oluşturmaktadır. Küresel ısınma ve buna bağlı olarak oluşan sıcaklık artışları ile birlikte yağıştaki azalma net buharlaşmada gözle görülür değişikliklere sebebiyet vermektedir. Almus Rezervuarının su yüzey alanında büyük olması buharlaşma miktarını arttıran bir diğer önemli faktördür. Bu nedenle rezervuar su kapasitesi arasındaki farklılıklara neden olan diğer bir sebep olarak gösterilebilir.

Rezervuarların işletme performansları değerlendirirken ve rezervuar işletme modelleri oluşturulurken sızma kayıpları dikkate alınmamıştır. Sızma kayıpları genel olarak rezervuar işletme sürecinde çok küçük olduğu için göz ardı edilmektedir. Ayrıca sızma etkisinin dikkate alınabilmesi için rezervuar sahası ile ilgili çok detaylı jeolojik araştırmaların yapılması gerekmektedir. Bu nedenle de sızma etkisine bu çalışmada yer verilmemiştir.

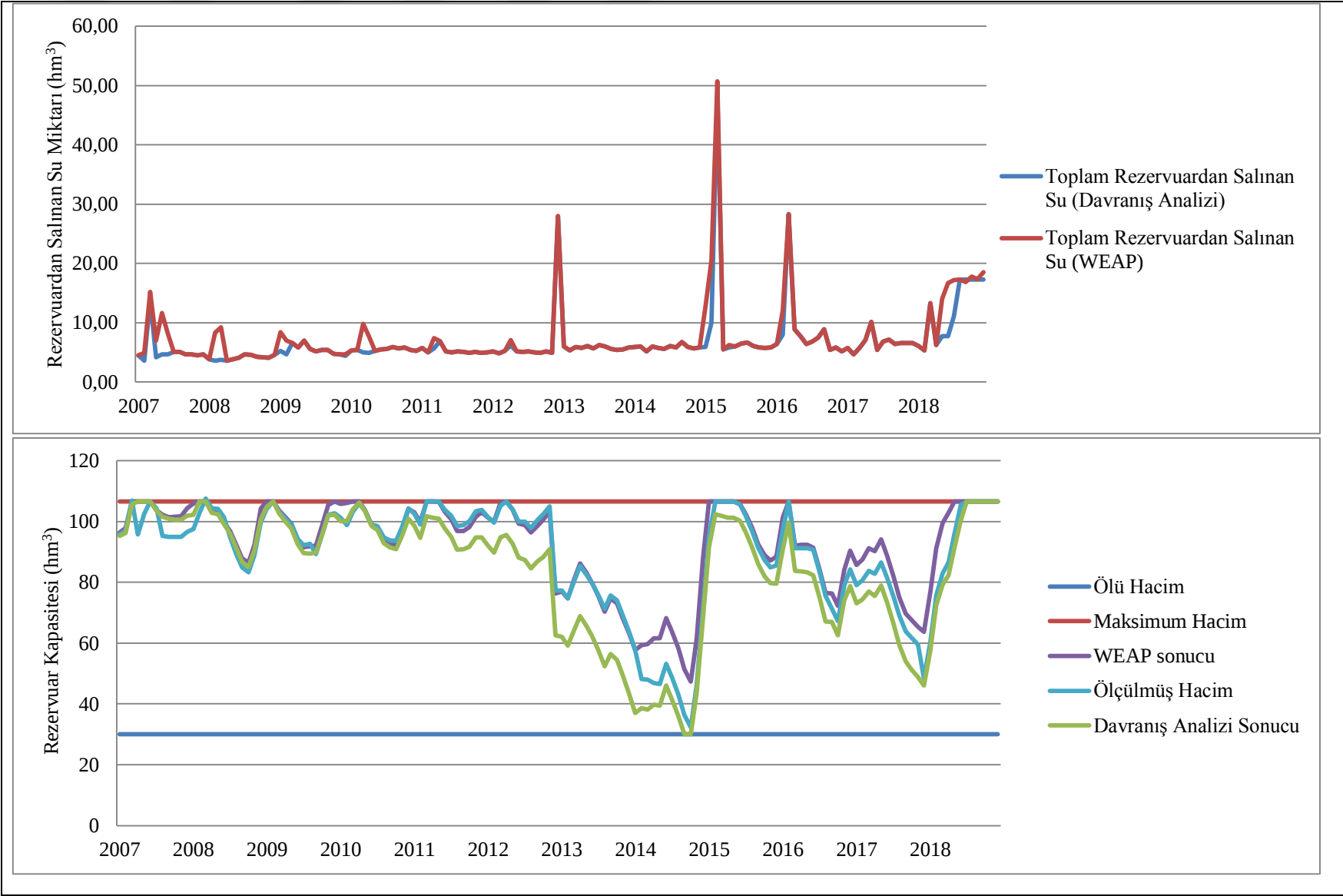
Şekil 6.22. Alaca barajı davranış analizi-WEAP-ölçülmüş su salınımı miktarı ve rezervuar kapasitesi karşılaştırma grafiği



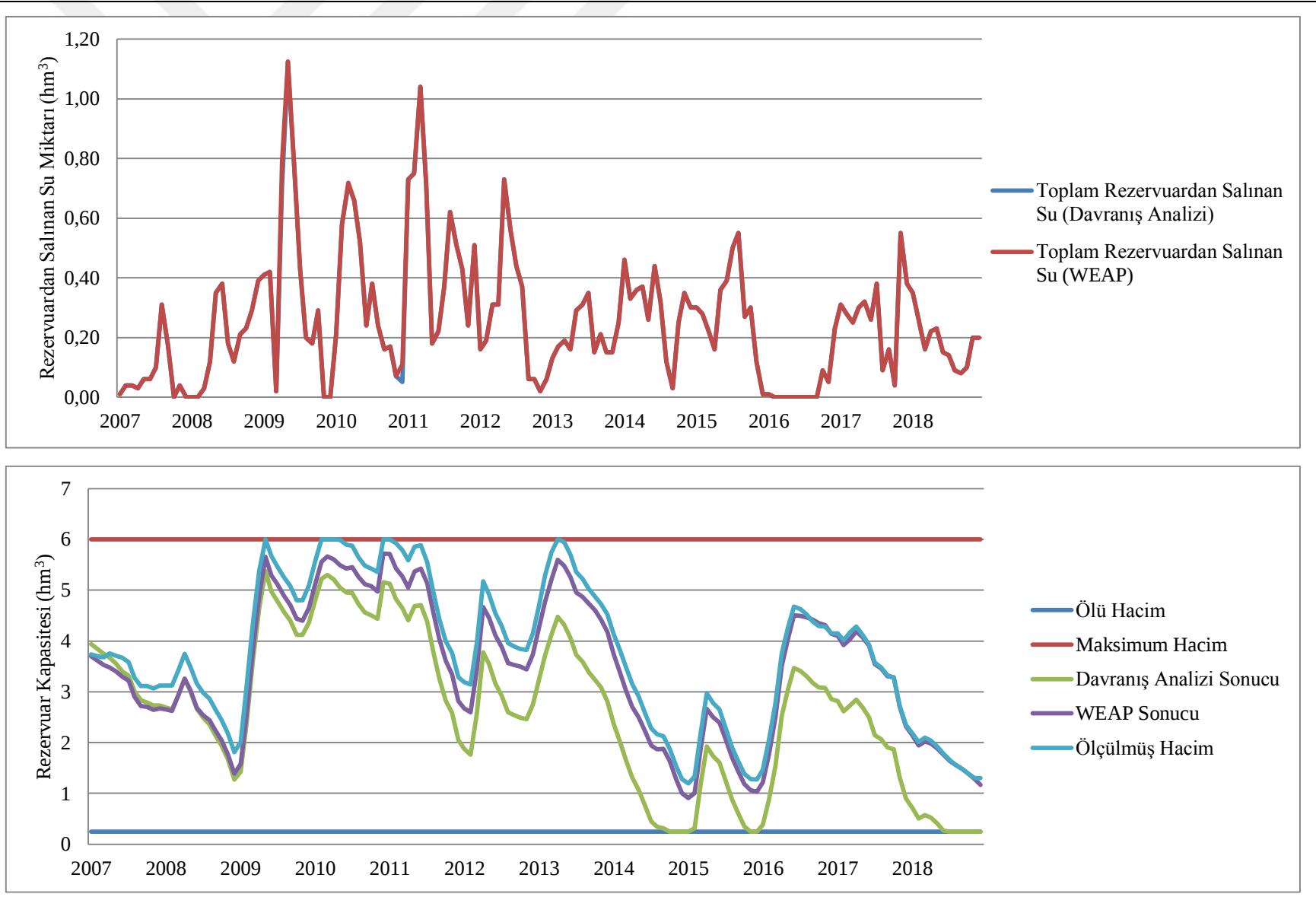
Şekil 6.23. Almus barajı davranış analizi-WEAP-ölçülmüş su salınımı miktarı ve rezervuar kapasitesi karşılaştırma grafiği



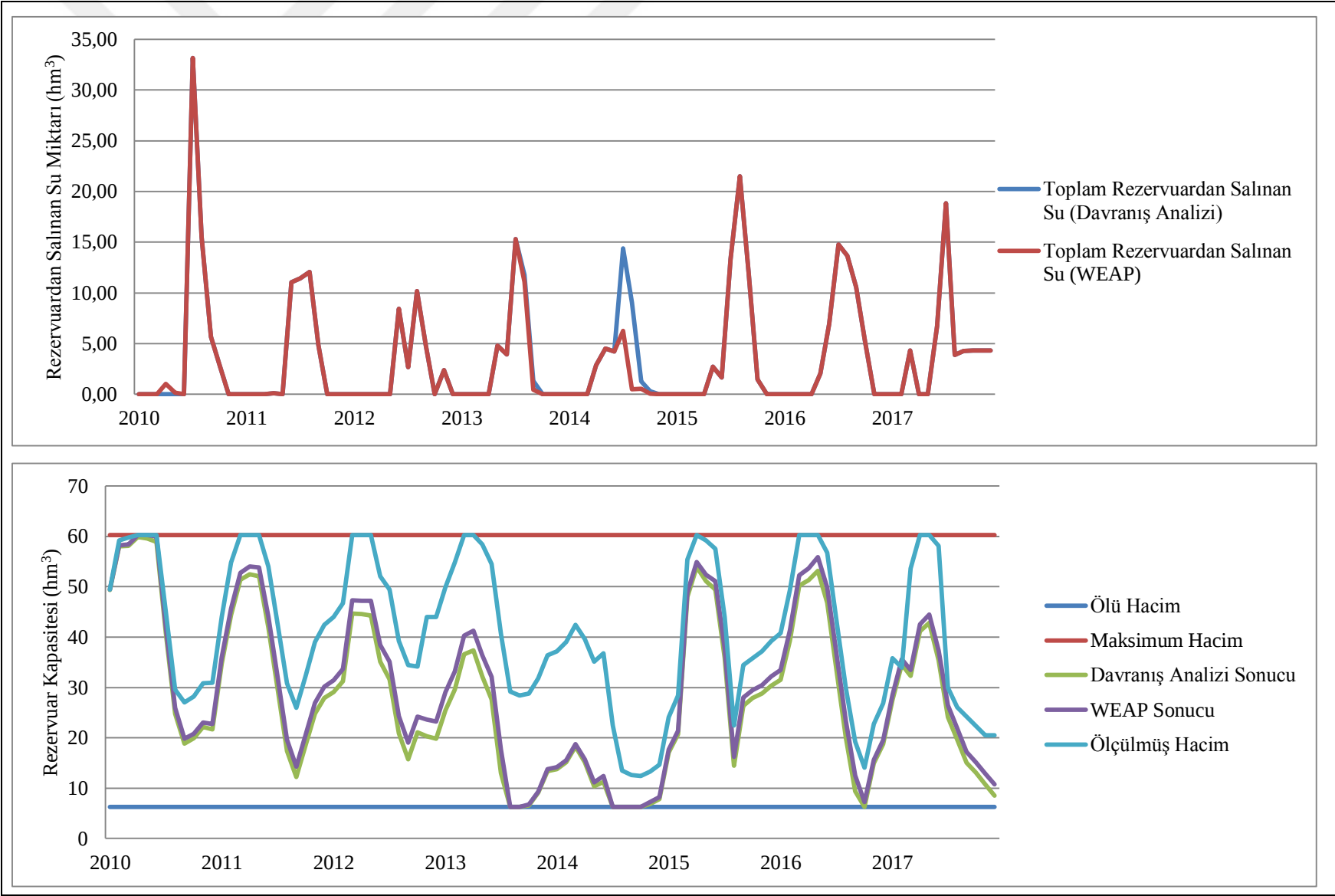
Şekil 6.24. Çakmak barajı davranış analizi-WEAP-ölçülmüş su salınımı miktarı ve rezervuar kapasitesi karşılaştırma grafiği



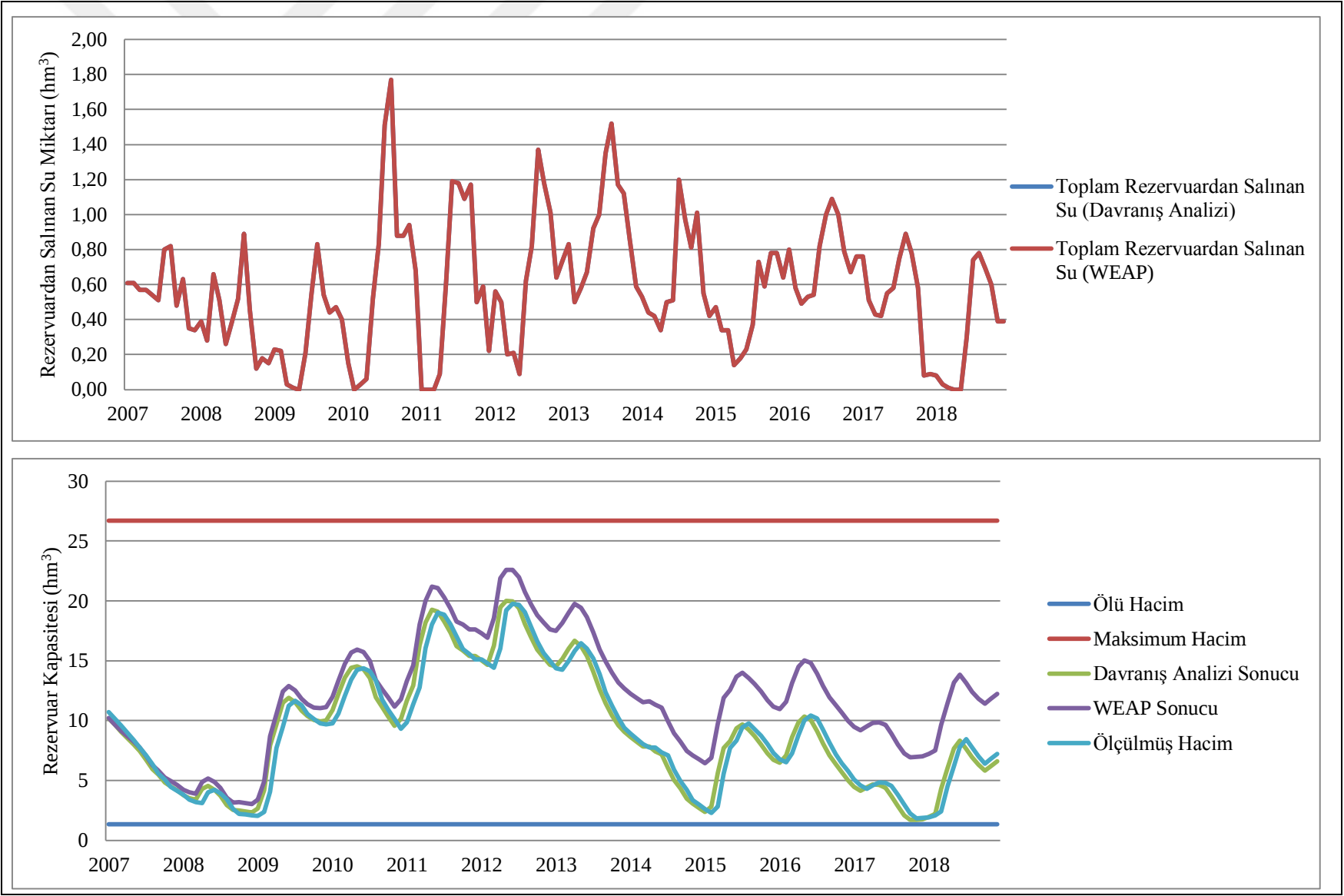
Şekil 6.25. Çorum barajı davranış analizi-WEAP-ölçülmüş su salınımı miktarı ve rezervuar kapasitesi karşılaştırma grafiği



Şekil 6.26. Yedikir barajı davranış analizi-WEAP-ölçülmüş su salınımı miktarı ve rezervuar kapasitesi karşılaştırma grafiği



Şekil 6.27. Yenihayat barajı davranış analizi-WEAP-ölçülmüş su salınımı miktarı ve rezervuar kapasitesi karşılaştırma grafiği





7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma su kaynağı rezervuarların işletme performansları üzerinde buharlaşma ve sedimentasyonun etkisini analiz etmiştir. Yapılan literatür çalışması sonucunda, hem rezervuar tasarımlarında hem de rezervuar işletme performansı değerlendirmelerinde genel olarak sadece giriş ve çıkış akımlarının baz alındığı belirlenmiştir. Ayrıca Yeşilirmak Havzası özelinde böyle bir çalışmanın yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda, Yeşilirmak havzasındaki yedi rezervuar incelenmiş ve ilk olarak rezervuarların, su talebini karşılayabilecek gerekli su depolama kapasiteleri Sıralı Tepeler Algoritması (STA) yöntemi ile hesaplanmıştır. Hesaplanan rezervuar hacimleri, DSİ'den elde edilen rezervuarların su depolama kapasitesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Rezervuarların işletme performansları davranış analizi simülasyonu kullanılarak değerlendirilmiştir. Davranış analizinde; buharlaşma etkisi, sediment etkisi ve sadece giriş-çıkış akımlarının kullanıldığı üç farklı simülasyon yapılmıştır. Rezervuar performansı güvenilirlik (zamansal ve hacimsel), iyileşebilirlik, ortalama aylık maksimum su eksikliği ve sürdürülebilirlik performans indisleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Elde edilen sonuçların doğruluğunu onaylamak için her bir rezervuarın WEAP modeli oluşturulmuştur. WEAP modelinden rezervuarların su kapasitelerinin zamana bağlı değişimleri elde edilmiştir. Hem davranış analizinden hem de WEAP modelinden elde edilen sonuçlar DSİ'den temin edilen rezervuar kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır.

Tez kapsamında yapılan analizler doğrultusunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Yeşilirmak Havzasında, bazı rezervuarlarda çok büyük boyutlandırmalar mevcuttur, ancak bu gelecekte iklim değişikliği, nüfus artışı gibi nedenler ile oluşabilecek ciddi kuraklıklara ve su ihtiyacına karşı bir önlem olacağından kabul edilebilir.
2. Diğer taraftan, bazı rezervuarların gerekenden daha küçük kapasitede tasarlandığı görülmüştür. Düşük kapasiteli rezervuarların talep edilen su ihtiyacını karşılayamayacağı, buharlaşma ve sediment etkisiyle de sık sık su eksikliği yaşayacağı ihtimalinden dolayı bu istenmeyen bir durumdur.
3. Buharlaşma ve sedimentasyonu rezervuarların planlama analizleri süresince göz ardı ettiğimizde, sistem performanslarına sedimentasyon ve buharlaşma etkilerinin dahil edildiği analizlerin sonuçları göstermiştir ki; her ne kadar miktarı az da olsa her ikisi de

performansı olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak, Yeşilırmak Havzası için yedi barajda da buharlaşma etkisinin sediment etkisinden daha büyük olduğu görülmektedir.

4. Sedimentasyonun ve buharlaşmanın bu havza özelinde rezervuarların işletme performansları üzerindeki olumsuz etkilerinin az olması gerçeği, buharlaşan su hacminin, sulama için gerekli su talebi ile karşılaştırıldığında çok daha az olmasına ve havzanın düşük sediment verimine bağlanabilir.
5. Davranış simülasyonundan elde edilen rezervuar kapasite sonuçları WEAP modeli ile doğrulanmıştır. Ölçülmüş veriler, davranış simülasyonu ve WEAP modeli karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu da, her iki yönteminde bu havza özelinde baraj işletmesinde kullanılabilir olduğunu göstermektedir.
6. Son olarak, Yeşilırmak Havzasında hem ölçülmüş hem de ölçümü olmayan bölgelerde yeni rezervuar gelişmelerini planlamanın temelini oluşturabilecek bölgesel kapasite-verim araçları geliştirilmiştir. Örneğin, bu araçların ölçülen sahalarda kullanılması, potansiyel rezervuar alanlarının ön değerlendirmesi sırasında analiz zamanından önemli tasarruf sağlayacaktır. Ölçülmemiş bölgeler için, bu araçlar gerekli rezervuar kapasite-verim bilgisini elde etmek için uygun bir seçenek olacaktır.

Yapılmış olan tez çalışmasına ek olarak, Yeşilırmak Havzası için aşağıda önerilen çalışmalar gerçekleştirilebilir:

1. Çalışma kapsamında Yeşilırmak Havzasında yer alan yedi adet rezervuar için koruma işletme politikası ve kural eğrileri kullanılarak yeni bir baraj işletme performansı analizi yapılabilir.
2. Optimizasyon yöntemi de birlikte değerlendirilerek kritik kural eğrisi oluşturup, barajın optimum su kapasite eğrisi oluşturulabilir. Böylece barajın verimliliği düzelenirken eksik kalma riski ve miktarı da minimize edilmiş olur.
3. Son olarak, iklim değişikliği ve artan nüfusun etkisi altında rezervuarlar için WEAP modeli yardımıyla gelecek senaryoları oluşturarak olumsuz etkilerinin önüne geçilmesine katkı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Dünya Su Verileri. (2009). 5th World Water Forum, İstanbul URL: <https://enb.iisd.org/crs/water/worldwater5/html/ymbvol82num23t.html>, Son Erişim Tarihi: 26.02.2019
2. İnternet: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2016 Faaliyet Raporu. URL: <http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2016-faaliyet-raporu.pdf?sfvrsn=2>, Son Erişim Tarihi: 15.10.2019
3. 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.
4. İnal, C., Fakioğlu, P. ve Bülbül, S. (2015). Hidrografik ölçmeler ile barajlardaki sediment miktarlarının belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(4), 1-12.
5. Zhao, G., Gao, H. and Cuo, L. (2016). Effects of urbanization and climate change on peak flows over the San Antonio River Basin, Texas. *Journal of Hydrometeorology*, 17, 2371–2389.
6. World Commission on Dams. (2000). *Dams and development: A new framework for decision making*. London, UK: Earthscan Publications, 404.
7. Wurbs, R. A. and Ayala, R. A. (2014). Reservoir evaporation in Texas, USA. *Journal of Hydrology*, 510, 1–9.
8. Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J. and Lammers, R. B. (2000). Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 289, 284–288.
9. Conway, D. (1996). The impacts of climate variability and future climate change in the Nile Basin on water resources in Egypt. *International Journal of Water Resources Development*, 12, 277–296.
10. Zhao, G., Gao, H., Naz, B. S., Kao, S. C. and Voisin, N. (2016). Integrating a reservoir regulation scheme into a spatially distributed hydrological model. *Advances in Water Resources*, 98, 16–31.
11. Lowe, L. D., Webb, J. A., Nathan, R. J., Etchells, T. and Malano, H. M. (2009). Evaporation from water supply reservoirs: An assessment of uncertainty. *Journal of Hydrology*, 376, 261–274.
12. Montaseri, M. and Adeloye, A. J. (2004). A graphical rule for volumetric evaporation loss correction in reservoir capacity-yield performance planning in Urmia Region, Iran. *Water Resources Management*, 18, 55–74.
13. Gupta, V., Tadros, M., Bradshaw, R.W., Showalter S.K., Miller, J.E., Evans, L. and Sasaki, D.Y. (2002). *Progress report: Advanced concepts group Fy01-1362-LDRD*,

- solutions to national and global security issues based on limited freshwater resources, SAND2002-0781. Albuquerque, NM:Sandia National Laboratories, 45-56.*
14. Gökbulak, F. and Özhan, S. (2006). Water loss through evaporation from water surfaces of lakes and reservoirs in Turkey. *Official Publication of the European Water Association*, 1-6.
 15. Adeloye, A. J., Nawaz, N. R. and Montaseri, M. (1999). Climate change water resources planning impacts incorporating reservoir surface net evaporation fluxes: A case study. *Water Resources Development*, 15(4), 561–581.
 16. Çeliker, S. A. ve Anaç, H. (2003). Erozyon. *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü*, 4(1), 1-3.
 17. Alkan, M. R., Kalkan, Y. (2005). *Sularla kaplı alanlarımız ve hidrografik ölçmeler*. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 529-541.
 18. Lajczak, A. (1996). Modelling the long-term course of non-flushed reservoir sedimentation and estimating the life of dams. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 1091-1107.
 19. Morris, G. and Fan, J. (1998). *Reservoir sedimentation handbook*. New York: McGraw-Hill, 11-14.
 20. Morris, G. L., and Fan, J. H. (1997). *Reservoir sedimentation handbook*. McGraw-Hill, New York, 16-23.
 21. Onüçyıldız, M., Bostancı, I. ve Yazar, A. (2014). Konya Altınapa Baraj Gölündeki sedimentasyon kaynaklı kapasite kaybının coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak hesaplanması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, 7, 12–26.
 22. Rashid, M. U., Shakir, A. S., Khan, N. M., Latif A. and Qureshi, M. M. (2015). Optimization of multiple reservoirs operation with consideration to sediment evacuation. *Water Resources Management*, 29, 2429–2450.
 23. Mahmood, K. (1987). *Reservoir sedimentation: impact, extent, mitigation*. Washington, D. C.: World Bank Technical Paper, 71.
 24. White, W. R. (2001). *Evacuation of sediment from reservoirs*. London: Thomas Telford, 48-59.
 25. Palmieri, A., Shah, F., Annandale, G.W. and Dinar A. (2003). *Reservoir conservation, vol. I. The rescon approach*. Washington, D. C.: World Bank, 6-7.
 26. Neelakantan, T. R. and Sasireka, K. (2013). Hydropower reservoir operation using standard operating and standard hedging policies. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(2), 1191-1196.
 27. Yin, X. A., Yang, Z. F., Petts, G. E. and Kondolf, G. M. (2014). A reservoir operating method for riverine ecosystem protection, reservoir sedimentation control and water supply. *Journal of Hydrology*, 512, 379–387.

28. Jalal, M. M., Haddad, O. B., Karney, B. W. and Marinno, M. A. (2007). Reservoir operation in assigning optimal multi-crop irrigation areas. *Agricultural Water Management*, 90, 149–159.
29. You, J.-Y. and Cai, X. (2008). Hedging rule for reservoir operations: 2. A numerical model. *Water Resources Research*, 44, 1-11.
30. Bayazit, M. and Ünal, N. E. (1990). Effects of hedging on reservoir performance. *Water Resources Research*, 26(4), 713-719.
31. Mujumdar, P. P. and Ramesh, T. S. V. (1997). Real-time reservoir operation for irrigation. *Water Resources Research*, 33(5), 1157-1164.
32. Hashimoto, T., Stedinger, J. R. and Loucks, D. P. (1982). Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research*, 18(1), 14-20.
33. Rashid, M. U., Shakir, A. S., Khan, N. M., Latif, A. and Qureshi, M. M. (2015). Optimization of multiple reservoirs operation with consideration to sediment evacuation. *Water Resources Management*, 29, 2429–2450.
34. Soundharajan, B. S., Adeloye, A. J. and Remesan, R. (2016). Evaluating the variability in surface water reservoir planning characteristics during climate change impacts assessment. *Journal of Hydrology*, 538, 625–639.
35. Taghian, M., Rosbjerg, D., Haghighi, A. and Madsen, H. (2014). Optimization of conventional rule curves coupled with hedging rules for reservoir operation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(5), 693-698.
36. Ahmadianfar, I., Adib, A. and Taghian, M. (2017). Optimization of multi-reservoir operation with a new hedging rule: application of fuzzy set theory and NSGA-II. *Applied Water Science*, 7(6), 3075-3086.
37. Adeloye, A. J., Soundharajan, B. S., Ojha, C. S. P. and Remesan, R. (2016). Effect of hedging-integrated rule curves on the performance of the Pong Reservoir (India) during scenario-neutral climate change perturbations. *Water Resources Management*, 30, 445–470.
38. Titus, G. and Putuhena, F. J. (2016). Study on rule curve development for hydro electric power (hep) dam operation. case study: Murum HEP dam. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 7(2), 58-67.
39. Yang, G., Guo, S., Li, L., Hong, X. and Wang, L. (2016). Multi-objective operating rules for Danjiangkou Reservoir under climate change. *Water Resources Management*, 30, 1183–1202.
40. Adeloye A. J. and Soundharajan, B. S. (2018). Effect of reservoir zones and hedging factor dynamism on reservoir adaptive capacity for climate change impacts. *International Association of Hydrological Sciences*, 379, 21–29.

41. Fang, H. B., Hu, T. S., Zeng, X., Wu, F. Y. (2014). Simulation-optimization model of reservoir operation based on target storage curves. *Water Science and Engineering*, 7(4), 433-445.
42. Wan, W., Zhao, J. and Wang, J. (2019). Revisiting water supply rule curves with hedging theory for climate change adaptation. *Sustainability*, 11(1827), 1-21.
43. Cheng, W. M., Huang, C. L., Hsu, N. S., Wei, C. C. (2017). Risk analysis of reservoir operations considering short-term flood control and long-term water supply: A case study for the Da-Han Creek Basin in Taiwan. *Water*, 9(6), 1-23.
44. Alvarez, V. M., Gonzalez-Real, M. M., Baille, A., Maestre Valero, J. F. and Gallego Elvira, B. (2008). Regional assessment of evaporation from agricultural irrigation reservoirs in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*, 95, 1056–1066.
45. Campos, J. N. B. (2010). Modeling the yield–evaporation–spill in the reservoir storage process: the regulation triangle diagram. *Water Resources Management*, 24, 3487–3511.
46. Sivapragasam, C., Vasudevan, G., Maran, J., Bose, C., Kaza, S. and Ganesh, N. (2009). Modeling evaporation-seepage losses for reservoir water balance in semi-arid regions. *Water Resources Management*, 23, 853–867.
47. Al- Aqeeli, Y. H., Lee, T. S. and Aziz, S. A. (2016). Enhanced genetic algorithm optimization model for a single reservoir operation based on hydropower generation: case study of Mosul reservoir, northern Iraq. *SpringerPlus*, 5(797), 1-21.
48. Montaseri, M. and Adeloye, A. J. (2004). A graphical rule for volumetric evaporation loss correction in reservoir capacity-yield-performance planning in Urmia Region, Iran. *Water Resources Management*, 18, 55–74.
49. Terzi, Ö., Özcanoglu, O. ve Baykal, T. (2017). Veri madenciliği süreci kullanılarak Altınapa Barajı'nın rezervuar işletme modeli. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 9(2), 39-49.
50. Benzaghta, M. A. and Mohamad, T. A. (2009). *Evaporation from reservoir and reduction methods: An overview and assessment study*. International Engineering Convention, Domascus, Syria and Medinah, Kingdom of Saudi Arabia.
51. Zhao, G. and Gao, H. (2019). Estimating reservoir evaporation losses for the United States: Fusing remote sensing and modeling approaches. *Remote Sensing of Environment*, 226, 109–124.
52. Wu, B., Wang, G. and Xia, J. (2007). Case study: delayed sedimentation response to inflow and operations at Sanmenxia Dam. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(5), 482-494.
53. Shokri, A., Haddad, O. B. and Mariño, M. A. (2013). Reservoir operation for simultaneously meeting water demand and sediment flushing: stochastic dynamic programming approach with two uncertainties, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(3), 277-289.

54. Wang, Z. Y. and Hu, C. (2009). Strategies for managing reservoir sedimentation. *International Journal of Sediment Research*, 24, 369-384.
55. Araújo, J. C. D., Güntner, A. and Bronstert, A. (2006). Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. *Hydrological Sciences Journal*, 51(1), 157-170.
56. Tate, E. L. and Farquharson, F. A. (2000). Simulating reservoir management under the threat of sedimentation: the case of Tarbela dam on the river Indus. *Water Resources Management*, 14(3), 191-208.
57. Hasan, Z. A., Yusoff, M. S. and Talib, S. H. A. (2011, April). *Bukit Merah reservoir sedimentation assessment*. In International Conference on Environment Science and Engineering, Bali, Indonesia.
58. Chitata, T., Mugabe, F. T. and Kashaigili, J. J. (2014). Estimation of small reservoir sedimentation in semi-arid Southern Zimbabwe. *Journal of Water Resources and Protection*, 6, 1017–1028.
59. Issa, I. E., Al-Ansari, N. and Knutsson, S. (2014). Mosul Dam reservoir sedimentation characteristics, Iraq. *Journal of Environmental Hydrology*, 22(3), 1-10.
60. Abebe, C. (2012). 3. Analysis of reservoir sedimentation process using DELFT-3D: Case study of Koga irrigation & watershed management project; Ethiopia. Challenges & Opportunities of Water Resources Management in Tana Basin, Upper Blue Nile Basin, *Ethiopia*, 33.
61. Güvel, Ş. P., Selek, B. ve Seçkin, G. (2017). Baraj rezervuarlarına sediment etkisinin araştırılması: Berdan Barajı örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 1, 89–97.
62. Wang, G., Wu, B. and Wang, Z. Y. (2005). Sedimentation problems and management strategies of Sanmenxia Reservoir, Yellow River, China. *Water Resources Research*, 41, 1-17.
63. Li, X., Zhao, Y., Shi, C., Sha, J., Wang, Z-L. and Wang, Y. (2015). Application of Water Evaluation and Planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, China. *Ocean & Coastal Management*, 106, 97-109.
64. Abrishamchi, A., Alizadeh, H. and Tajrishy, M. (2007). Water resources management scenario analysis in the Karkheh River Basin, Iran, using the WEAP model. *Hydrological Science and Technology*, 23(1-4), 1-11.
65. Mourad, K. A. and Alshihabi, O. (2016). Assessment of future Syrian water resources supply and demand by the WEAP model. *Hydrological Sciences Journal – Journal Des Sciences Hydrologiques*, 61(2), 393–401.
66. Demertzi, K. A., Papamichail, D. M., Georgiou, P. E., Karamouzis D. N., Aschonitis, V. G. (2013). Assessment of rural and highly seasonal tourist activity plus drought effects on reservoir operation in a semi-arid region of Greece using the WEAP model. *Water International*, 39(1), 23-34.

67. Hamlat, A., Errih, M. and Guidoum, A. (2013). Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 2225–2236.
68. Yilmaz, B. (2015). Assessing Climate Change Impacts on Gediz Basin Water Balance with WEAP Model. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 2(11), 3017-3020.
69. Metobwa, O. G. M., Mourad, K. A. and Ribbe, L. (2018). Water demand simulation using WEAP 21: A case study of the Mara River Basin, Kenya. *International Journal of Natural Resource Ecology and Management*, 3(1), 9-18.
70. Khalil, A., Rittima, A. and Phankamolsil, Y. (2018). The projected changes in water status of the Mae Klong Basin, Thailand, using WEAP model. *Paddy and Water Environment*, 16, 439–455.
71. Kou, L., Li, X., Lin, J. and Kang, J. (2018). Simulation of urban water resources in Xiamen based on a WEAP model. *Water*, 10(6), 1-16.
72. İnternet: Devlet Su İşleri. (2014). DSİ Genel Müdürlüğü - Teknik Sözlükler. URL: <http://dsi.gov.tr/dsi-sozlukler>, Son Erişim Tarihi: 23.01.2020.
73. Davis, M. and Cornwell, D. (1998). *Introduction to environmental engineering* (3rd edition). McGraw-Hill, 22-36.
74. İnternet: University of Saskatchewan. (2019). Dynamically Zoned Target Release (DZTR) Reservoir Model. URL: <https://wiki.usask.ca/display/MESH/Dynamically+Zoned+Target+Release+%28DZTR%29+Reservoir+Model>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2020.
75. Geddes, I., Campbell, C. (2015). *River basin management*. North Ayrshire: Higher Geography for CfE: Global Issues, Hodder Gibson, 75-86.
76. Kenabatho, P. K. and Parida, B. P. (2005). Evaporation losses as a major factor in determining allowable releases from water supply reservoirs: the case of Botswana's major reservoirs. *WIT Trans Ecol Environ. River Basin Management III*, 83, 631–638.
77. Alexander, G.N. (1962). *The use of the Gamma distribution in estimating regulated outputs from storages*. *Civil Engineering Translation*, 4(1), 29-34.
78. Adeloye, A. J. (2012). Hydrological sizing of water supply reservoirs. In L. Bengtsson, R. W. Herschy, R. W. Fairbridge, (Eds.), *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*. Dordrecht: Springer, 346-355.
79. Montaseri, M. and Adeloye, A. J. (1999). Critical period of reservoir systems for planning purposes. *Journal of Hydrology*, 224, 115-136.
80. Dysarz, T. (2003). Control of flood defense reservoirs system under undertaking inflows: nysa reservoirs system case study. International Institute for Applied Systems Analysis Schlossplatz 1 A-2361, Laxenburg, 1-26.

81. Lund, J. R., Guzman, J. (1996). Developing seasonal and long-term reservoir system operation plans using HEC-PRM. *Technical Report RD-40*, Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, 31-37.
82. McMahon, T. A. and Adeloye, A. J. (2005). *Water resources yield*. Colorado: Water Resources Publications, 6-42.
83. Loucks, D. P. (1997). Quantifying trends in system sustainability. *Hydrological Sciences Journal*, 42(4), 99-128.
84. McMahon, T. A., Adeloye, A. J. and Zhou, S. L. (2006). Understanding the performance measures of reservoirs. *Journal of Hydrology*, 324, 359-382.
85. Simonovic, S.P. (1998). Sustainability criteria for possible use in reservoir analysis. In K. Takeuchi, M. Hamlin, Z. W. Kundzewicz, D. Rosbjerg, and S. P. Simonovic, (Eds.). *Sustainable reservoir development and management*. Wallingford, Oxfordshire: International Association Hydrological Sciences Publications, 55-58.
86. Sandoval-Soils S., McKinney D. C., Loucks D. P. (2011). Sustainability index for water resources planning and management. *Journal Water Resources Plan Management (American Society of Civil Engineers)*, 137(5), 381–389.
87. Lence, B. J., Fürst, J. and Matheson, S. M. (1997). Distributive fairness as a criterion for sustainability: evaluative measures and application to project selection. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 4, 245-258.
88. Fanai, N. and Burn, D.H. (1997). Reversibility as a sustainability criterion for project selection. *International Jour. Sustainable Development and World Ecology*, 4(4), 259-273.
89. Kroeger, H. I. and Simonovic, S. P. (1997). Development of a risk measure as a sustainable project selection criterion. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 4(4), 274-285.
90. Loucks, D. P. and Sigvaldason, O. T. (1982). Multiple-reservoir operation in North America. In Z. Kaczmarek, J. Kindler (Eds.). *The operation of multiple reservoir systems*. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 1-105.
91. Chiamsathit, C. (2016). *Optimisation of hedging-integrated rule curves for reservoir operation*. Doctoral Dissertation, Heriot-Watt University, Edinburgh, 85-138.
92. Klemes, V. (1982). The essence of mathematical models of reservoirs storage. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 9(4), 634-635.
93. McMahon, T. A. and Mein, R. G. (1986). *Theoretical classification of capacity-yield procedures, River and reservoir yield*. USA: Water Resources Publications, 96-105.
94. Rippl, W. (1883). Capacity of storage reservoirs for water supply. *Minutes of Proceedings, Institution of Civil Engineers*, 71, 270-278.
95. Waitt, F. W. F. (1945). Studies of droughts in the Sydney catchment areas. *Journal of Institution Engineers, Australia*, 17(4-5), 90-97.

96. Teoh, C. H., McMahon, T. A. (1982). Estimation of rapid reservoir storage-yield procedures. *Advances in Water Resources*, 5, 208-215.
97. Gould, B.W., (1964) '*Discussion of paper by G.N. Alexander*' *water resources use and management*. Melbourne: Melbourne University Press, 108-120.
98. Montaseri, M. (2000). Stochastic investigation of the planning characteristics of within-year and over-year reservoir systems. PhD thesis, Department of Civil and Offshore Engineering, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK, 68-92.
99. Bayazit, M. and Bulu, A. (1991). Generalised probability storage distribution of reservoir capacity. *Journal of Hydrology*, 126, 195-205.
100. Vogel, R. M. and Stedinger, J. R. (1987). Generalised storage-reliability-yield relationships. *Journal of Hydrology*, 89, 303-327.
101. Gould, B. W. (1961). Statistical model for estimating the design capacity of dams. *Journal of The Institution of Engineers Australia*, 33(12), 405-416.
102. Nandalal, K. D. W., and Bogardi, J. (2007). *Dynamic programming based operation of reservoirs: applicability and limits*. Cambridge: Cambridge University Press, 1-15.
103. Internet: U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (1981) Reservoir system analysis for conservation: HEC-3 User's Manual [online]. Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif. URL: <http://www.hec.usace.army.mil>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2020.
104. Internet: U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (2003) HEC-ResSim Reservoir System Simulation: User's Manual [online]. 2.0. September 2003, Hydrologic Engineering Center. URL: <http://www.hec.usace.army.mil>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2020.
105. Stockholm Environment Institute. (2011). *Water evaluation and planning system: user guide for WEAP 21*. Somerville, MA: Stockholm Environment Institute, U.S. Center, 1-4.
106. Wurbs, R. A. (2005). Comparative evaluation of generalized reservoir/river system models. Technical Report, The Texas A&M University, Texas, no. 282.
107. Rukuni, S. (2006) *Modelling the response of small multi-purpose reservoirs to hydrology for improved rural livelihoods in the Mzingwane catchment: Limpopo Basin*. MSc. Thesis, University of Zimbabwe, Zimbabwe, 21-34.
108. Yeh, W. W. G. (1985). Reservoir management and operation models. *Water Resources Research*, 21(12), 1797-1818.
109. Internet: Yeşilirmak Havzası. Harita. URL: http://www.yesilirmak.org.tr/documents/harita/HARITA_1.pdf, Son Erişim Tarihi: 08.06.2018.
110. Ozturk, F. (1996). Suspended sediment yields of rivers in Turkey. D. E. Walling, B. W., Webb (Eds.). *Erosion and sediment yield: Global and regional perspectives*.

Wallingford, Oxfordshire: International Association of Hydrological Sciences Publications, 65–71.

111. Gülersoy, A. E. (2013). Çorum merkez ilçede arazi kullanımının zamansal değişimi (1987-2011) ve çevresel etkileri. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11(2), 169-194.
112. McMahon, T. A., Finlayson, B. L., Haines, A. T. and Srikanthan, R. (1992). *Global runoff: continental comparisons of annual flows and peak discharges*. Germany: Catena Verlag, 28-76.
113. İnternet: Moran, P. A. P. (1956). A probability theory of a dam with a continuous release. *The Quarterly Journal of Mathematics*, 7(1), 130-137.
114. İnternet: Water Evaluation and Planning. (2020). WEAP Özellikleri. <https://www.weap21.org/index.asp?action=202>, Son Erişim Tarihi: 10.05.2019.





ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : PINARLIK, Murat
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 29.01.1990, İzmir
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0312 202 8901
 Faks : 0312 202 8863
 e-mail : muratpinarlik@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2014
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2012
Lise	Milas Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Pınarlık, M. and Adeloye, J. A. (2020). *The effect of ignored evaporation and sedimentation secondary processes during reservoir planning analysis on eventual operational performance*. Roorkee Water Conclave 2020, Uttarakhand, 1-13.
2. Pınarlık, M. and Selek, Z. (2019). *Evaluation of sediment deposition on corum dam reservoir*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471.

3. Yiğit, M. E., Özdemir, A., Şermet, F. and Pınarlık, M. (2018). Analysis of offshore wind turbine towers with different designs by finite elements method. *International Journal of Advanced Research in Engineering*, 4(3), 1.
4. Avey, A., Deniz, A., Mecitoğlu, Z., Özyiğit, P. and Pınarlık, M. (2015). Buckling of shear deformable functionally graded orthotropic cylindrical shells under a lateral pressure. *Acta Physica Polonica A*, (127), 907-909.
5. Avey, A., Deniz, A., Özyiğit, P. and Pınarlık, M. (2014). Stability analysis of clamped nonhomogeneous shells on the elastic foundation. *Acta Physica Polonica A*, (125), 459-461.
6. Pınarlık, M. and Selek, Z. (2019). *Estimation of soil erosion in the drainage basin of cakmak dam*. ISBS2019 Proceedings 4th International Sustainable Buildings Symposium (ISBS2019), Texas, 685-696.
7. Kılıç Demircan, R., Öztürk Kardoğan, P. S., Pınarlık, M. ve Aytekin, O. (2017). *Tarihi şavşat tbeti manastırı'nın sonlu elemanlar yöntemi ile analizi*. 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress, Adana, 2049-2057.
8. Öztürk Kardoğan, P. S., Pınarlık, M., Işık, N. S. and Fırat, S. (2017). *Behaviour of dams under earthquake loading-case of lower san fernando dam*. 3rd International Sustainable Buildings Symposium (ISBS 2017), Dubai.
9. Pınarlık, M., Selek, Z. and Selek, B. (2017). *Sustainable operation of dams under the sediment threat*. 3rd International Sustainable Buildings Symposium (ISBS 2017), Dubai.
10. Öztürk Kardoğan, P. S., Pınarlık, M., Özdemir, A. ve Kılıç Demircan, R. (2016). *Sismik yükler altında kazıklı ve blok tipi rıhtım yapısının davranışının irdelenmesi*. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016), Adana, 759-766.
11. Kılıç Demircan, R., Özdemir, A., Öztürk Kardoğan, P. S. ve Pınarlık, M. (2016). *Tarihi yapıların sürdürülebilirliği kapsamında taşıma yöntemlerinin irdelenmesi*. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016), Adana, 800-808.
12. Avey, A., Deniz, A., Özyiğit, P., Özmançelebioğlu, E., Pınarlık, M., Taşkın, M. and Kaplan, A. N. (2014). *The stability of cylindrical shells with exponentially graded coatings subjected to lateral pressure*. International Civil Engineering & Architecture Symposium for Academicians, Antalya, 98-105.
13. Selek, Z. ve Pınarlık, M. (2019). Yeşilirmak havzası cakmak barajı rezervuarındaki sediment birikiminin araştırılması. *Journal of Polytechnic*, 22(2), 715-721.
14. Pınarlık, M., Öztürk Kardoğan, P. S. ve Kılıç Demircan, R. (2017). Şev stabilitesine zemin özelliklerinin etkisinin limit denge yöntemi ile irdelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 675-684.

15. Özdemir, A., Pınarlık, M. ve Ercan, E. (2017). Sürdürülebilir binalar için dünyada uygulanan devlet teşvikleri ve uygulamaların incelenmesi. *Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi*, 10(1), 52-60.
16. Avey, A. ve Pınarlık, M. (2016). Fonksiyonel değişimli ortotropik plakların dinamik tepkisine kayma deformasyonu ve dönel eylemsizlik etkilerinin incelenmesi. *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(2), 236-243.
17. Tekeli, H., Esen, B., Övey, H. M., Arapoğlu, M., Pınarlık, M. ve Turgut, R. (2015). Betonarme kirişlerin çelik levhalarla kesmeye karşı güçlendirilmesi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(1), 13-20.

Hobiler

Futbol, Basketbol, Voleybol, Müzik, Seyahat.





GAZİ GELECEKTİR..