

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK BARAJLI SİSTEMLERDE KISA SÜRELİ PLANLAMA İÇİN
TAŞKIN KONTROL SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

MAHMUT ÜYE

KOCAELİ 2023

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK BARAJLI SİSTEMLERDE KISA SÜRELİ PLANLAMA İÇİN
TAŞKIN KONTROL SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

MAHMUT ÜYE

Prof. Dr. Mücahit OPAN
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Prof. Dr. Safa Bozkurt COŞKUN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

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

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 23.06.2023

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

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

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

beyan ederim.

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

□ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafındanno'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

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

.....

Mahmut ÜYE

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

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

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

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

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....

Mahmut ÜYE

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Kendisini tanıdıktan sonra geri kalan hayatım boyunca benim rol modelim olan, hayatımın her anında verdiği destekler, fikirler, tavsiyeler ve eleştiriler ile bana gösterdiği yollarla, problemlere yaklaşım biçimleriyle, kattığı güzellikleriyle, her aşamada olduğu gibi yüksek lisans serüvenimde de tavizsiz ve yılmadan, bana çok kavi bir şekilde yardımcı olan kıymetli, bir tanecik kayınpederim, canım babacığma sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans macerasına değerli eşim ile aynı anda başlayıp, bu maratону benden çok çok önce başarı ile bitirip, desteğini hiçbir şekilde esirgemedi her an arkamda duran, 3 güzel oğlumun annesi ve biricik güzel eşim Yüksek İç Mimar Büşra Üye'ye kalpten şükranlarımı sunuyorum.

İnşaat mühendisliği hidrolik anabilim dalının en değerli akademisyenlerinden olan, yüksek lisans dönemim boyunca verdiği güzel bilgileri ve doğru yönlendirmeleri ile tezimin güzel bir sonuca ulaşmasını sağlayan sayın Prof. Dr. Mücahit Opan'a çok teşekkür ediyorum.

Mayıs – 2023

Mahmut ÜYE

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLOLAR DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. İşletme Optimizasyonu’nda Kısa Zamanlı Planlama.....	1
1.2. Ceyhan Havzası’nın Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi’nin Uygulama Amacı.....	3
2. SİSTEMİ EN İYİ ŞEKİLDE VERİMLENDİRME	4
2.1. Giriş	4
2.2. Dinamik Programlama	5
2.2.1. Kullanacağımız Programlamada Bilgisayar Zamanı ve Belleği	11
2.2.2. Ardışık Yaklaşırmalı Dinamik Programlama	12
2.3. Gerçek Süreli En Uygun İşletme ve Gelecek Akımların Tahmini	13
2.4. Kinematik Dalga Yöntemi	16
2.5. Kullanılan Modelleme Aracı: MATLAB ile Programlama	17
2.5.1. MATLAB Dili.....	21
2.5.2. Grafikli İşlemleri.....	22
2.5.3. Geliştirme Ortamı.....	22
2.5.4. MATLAB Kalkülatif İşlev Arşivi.....	22
2.5.5. MATLAB Çalışma Programı Arabirimi	22
3. ÇOK BARAJLI SİSTEMİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ.....	23
3.1. Sistemin Tanımlanması.....	23
3.2. Optimizasyon Model’inin Kısa Süreli Planlanması.....	25
3.3. Akarsular Yatağında Taşkın Öteleme Yöntemleri ve Uygulamaları.....	26
3.3.1 Kinematik dalga modeli	28
4. ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ VE CEYHAN HAVZASI	38
4.1. Havzanın Konumu	38
4.2. Buharlaşma Değerleri	44
4.3. Yükseklik-Hacim İlişkileri	44
4.4. Yükseklik-Alan İlişkileri	47
4.5. Barajlara Gelen Akımlar	47
4.6. Taşkın Hidrorafları	54
5. CEYHAN HAVZASI İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR	57
5.1. Güvenilir Gücün Enbüyüklenmesi.....	57
5.1.1. Güvenilir Gücün Enbüyüklenmesinde Modele Giren Veriler.....	57
5.1.2. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler.....	58
5.2. Model Verileri.....	62
5.2.1. Modele Giren Veriler	62
5.2.2. Modelden Çıkan Veriler.....	64
5.3. Kısa Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar	67

5.3.1. Modele Giren Veriler	67
5.3.2. Modelden Çıkan Veriler.....	68
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR.....	73
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	76



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Ortalama işletme prosesi kısa süreli	2
Şekil 2.1.	D.P. bir düzendeki durum-karar ve durum değeri değişkeninin grafiği.....	8
Şekil 3.1.	Su kaynakları sisteminin, çoklu barajlardan oluşan seri bağlı taslak görünümü.....	23
Şekil 3.2.	t-zamanında bir i-barajında çalışmasıyla ilişkili değişkenler	23
Şekil 3.3.	Kinematik dalga denkleminin çözümü için sonlu farklar gösterimi.....	32
Şekil 3.4.	Kinematik dalga modeli.....	35
Şekil 4.1.	Havzası'nın şematik görünüşü (Ceyhan).....	39
Şekil 4.2.	Seçilen Barajlara ait teknik veriler	40
Şekil 4.3.	Menzelet Barajı'nın görüntüsü	42
Şekil 4.4.	Kılavuzlu Barajı'nın görüntüsü	42
Şekil 4.5.	Sır Barajı'nın görüntüsü	42
Şekil 4.6.	Berke Barajı'nın görüntüsü.....	43
Şekil 4.7.	Aslantaş Barajı'nın görüntüsü	43
Şekil 4.8.	Menzelet barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	45
Şekil 4.9.	Kılavuzlu barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	45
Şekil 4.10.	Sır barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri.....	45
Şekil 4.11.	Berke barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	46
Şekil 4.12.	Aslantaş barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	46
Şekil 4.13.	Ortalama akımlar (Aylık)	54
Şekil 4.14.	Aylık akımlar (Kritik Dönemde)	54
Şekil 4.15.	Menzelet Barajına havzasından gelebilecek 100 yıllık PMF taşkın hidrografi	55
Şekil 4.16.	Menzelet Barajına havzasından gelebilecek 10.000 yıllık taşkın hidrografi	55
Şekil 5.1.	Menzelet Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi.....	61
Şekil 5.2.	Kılavuzlu Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi.....	61
Şekil 5.3.	Sır Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi.....	61
Şekil 5.4.	Berke Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi.....	62
Şekil 5.5.	Aslantaş Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi.....	62
Şekil 5.6.	Menzelet Barajı'ndan bırakılan akımın Kılavuzlu Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri.....	64
Şekil 5.7.	Kılavuzlu Barajı'ndan bırakılan akımın Sır Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri.....	65
Şekil 5.8.	Sır Barajı'ndan bırakılan akımın Berke Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	65
Şekil 5.9.	Berke Barajı'ndan bırakılan akımın Aslantaş Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri.....	65
Şekil 5.10.	Menzelet Barajı'ndan bırakılan akımın Kılavuzlu Barajı'na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	66
Şekil 5.11.	Kılavuzlu Barajı'ndan bırakılan akımın Sır Barajı'na ulaşma zamanının eğrisi,denklemini ve regresyon değeri	66

Şekil 5.12. Sır Barajı’ndan bırakılan akımın Berke Barajı’na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	67
Şekil 5.13. Berke Barajı’ndan bırakılan akımın Aslantaş Barajı’na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	67
Şekil 5.14. Menzelet Barajı’na havzasından gelen 100 yıl tekerrür aralıklı PMF taşkın hidrografı (Tasarım amaçlı taşkın hidrografı, 150 saatlik akım verileri)	68
Şekil 5.15. Taşkın durumunda, her bir barajdan bırakılan toplam akım miktarı	69
Şekil 5.16. Menzelet Barajı’nda taşkın kontrol seviyesi.....	70
Şekil 5.17. Kılavuzlu Barajı’nda taşkın kontrol seviyesi.....	70
Şekil 5.18. Sır Barajı’nda taşkın kontrol seviyesi.....	70
Şekil 5.19. Berke Barajı’nda taşkın kontrol seviyesi.....	71
Şekil 5.20. Aslantaş Barajı’nda taşkın kontrol seviyesi.....	71



TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1.	Seçilen ardışık barajlara ait veriler	41
Tablo 4.2.	Baraj aksından aksına Ceyhan Nehri'nin uzunluğu.....	44
Tablo 4.3.	Çok barajlı su kaynakları sistemi ile işletilmesi anında kullanılan buharlaşma değeri (mm/ay) (Ceyhan Havzası)	44
Tablo 4.4.	Hacim – Yükseklik parametreleri ($h=a.V_n$, h (m), V (107 m ³)).....	46
Tablo 4.5.	Uzun süreli işletmede, çok barajlı su kaynakları sisteminde alan yükseklik ilişkisi parametreleri.....	47
Tablo 4.6.	Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (m ³ /s).....	48
Tablo 4.7.	1973-1974 yılları arasındaki kritik dönemde (kurak dönemde) barajların aksına havzasından gelen aylık akım değeri (m ³ /s)	48
Tablo 4.8.	Akım değeri aylık olarak (Ym ³ /s) (Menzelet Barajı)	49
Tablo 4.9.	Akım değeri aylık olarak (m ³ /s) (Kılavuzlu Barajı)	50
Tablo 4.10.	Akım değeri aylık olarak (m ³ /s) (Sır Barajı)	51
Tablo 4.11.	Akım değeri aylık olarak (m ³ /s) (Berke Barajı)	52
Tablo 4.12.	Akım değeri aylık olarak (m ³ /s) (Aslantaş Barajı)	53
Tablo 5.1.	Barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar	57
Tablo 5.2.	Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri	58
Tablo 5.3.	Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları.....	58
Tablo 5.4.	Barajlardaki aylık buharlaşma değeri (mm/ay)	58
Tablo 5.5.	Barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları.....	59
Tablo 5.6.	Barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları.....	60
Tablo 5.7.	Barajlardaki kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri	60
Tablo 5.8.	Barajlar-arası akarsu yatağının ve kesitinin özellikleri	63
Tablo 5.9.	Barajlardan enerji üretimi ve dolu savaktan bırakılacak maksimum toplam akım miktarları	68
Tablo 5.10.	Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri	68
Tablo 5.11.	Barajlardaki optimal taşkın kontrol seviyeleri ($f=150$ saat, $t=12$. ay içinde)	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

X_t	: t-aşamasındaki durum değişkeni
D_t	: t-aşaması için karar değişkeni
r_t	: t-aşaması için aşama dönüşüm fonksiyonu
R	: Gerekli bellek boyutu (bytes)
T_E	: Gerekli bilgisayar zamanı (s)
t	: Aşama sayısı, (Zaman)
m	: Baraj sayısı
T_a	: Bilgisayar tipine bağlı bir katsayı
X	: Hazneye giren akımlar
Y	: Hazneden çıkan akımlar
$S_{i,t}$	: i- barajında t-zamanında depolanmış su miktarları
$F_{i,t}$	: i-barajının havzasından t-zamanda gelen akım miktarı
$Q_{i,t}$	: i-barajından t-zamanda enerji üretimi için bırakılan akım miktarı
$R_{i,t}$	: i-barajında t-zamanda dolu savaktan bırakılan akım miktarı
$B_{i,t}$	: i-barajından t-zamandaki buharlaşma kaybı miktarı
S_{Min}	: i-barajında depolanan minimum su miktarı
S_{Maks}	: i-barajında depolanan maksimum su miktarı
Q_{Maks}	: i-barajında enerji üretimi için bırakılabilecek maksimum su miktarı
R_{Maks}	: i-barajında dolu savaktan bırakılabilecek maksimum su miktarı
S_{Nor}	: i-barajında t-zamandaki aylık normal işletme seviyesi
$S_{Taş}$	: i-barajında t-zamandaki optimal taşkın kontrol seviyesi
$W_{i,t}$	: i-barajında t-zamanda akarsu yatağına bırakılması gereken minimum su miktarı (sulama, kirlilik kontrolü, ulaşım gibi amaçlar gözetilerek),
W_{Maks}	: i-barajında akarsu yatağına bırakılabilecek maksimum su miktarı (taşkın kontrolü için emniyetli akım),
$(F_{i,f})_t$	: i-barajının havzasından t-ayında f-saatinde gelen akım miktarı
$(Q_{i,f})_t$	: i-barajından t-ayında f-saatinde enerji üretimi için bırakılacak akım miktarı
$(R_{i,f})_t$	: i-barajında t-ayında f-saatinde dolu savaktan bırakılacak akım miktarı
$(S_{i,f})_t$	: i-barajında t-ayında f-saatindeki işletme seviyesi
$(S_{Taş,i,f})_t$	: i-barajında t-ayında f-saatindeki taşkın kontrol seviyesi
$(S_{Ben,i,f})_t$	: i-barajında t-ayında f-saatindeki benzetim işletme seviyesi
$(S_{G,i,f})_t$	: i-barajında t-ayında f-saatindeki ilave hacimli taşkın kontrol seviyesi
$S_{d,i}$	: Başlangıç işletme seviyesi için i-barajındaki seviyedeki düzeltme miktarı
$P_{i,t}$	: i-barajında t-zamanda elde edilen ortalama güç
$P_{Aç,i,t}$	: i-barajında t-zamanda enerji açık miktarı
P_{ki}	: i-barajındaki kurulu güç
P_G	: Güvenilir güç,
p_G	: Güvenilir enerji birim fiyatı
p_s	: Sekonder enerji birim fiyatı
k_i	: i-barajında enerji üretim katsayısı
dk_i	: i-barajında tünel çapına ve sürtünme özelliklerine bağlı bir katsayı
l_i	: i-barajında taşıma tüneli uzunluğu
h_{i,t^*}	: i-barajında t-zamandaki ortalama net düşü
$h_{i,t}$	: Tüneldeki sürtünme kaybı düşünülmeden önce i-barajında t-zamandaki ortalama su yüksekliği
$(h_f)_{i,t}$	: i-barajında t-zamandaki sürtünmeden dolayı yük kaybı

Q	: Akarsu yatağındaki ortalama debi
q	: Akarsu yatağındaki yanal akış miktarı
A	: Akarsu yatağındaki ortalama kesit alanı
P	: Akarsu yatağındaki ortalama ıslak çevre
R	: Hidrolik yarıçap
n	: Manning katsayısı, (Akarsu yatağı sürtünme katsayısı)
g	: Yerçekimi ivmesi
S_o	: Akarsu yatağındaki taban eğimi
S_f	: Akarsuda su yüzeyinin eğimi, hidrolik eğim

Kısaltmalar

DDDP	: Discrete Differential Dynamic Programming (Ayrık Farksal Dinamik Programlama)
DDP	: Discrete Dynamic Programming (Ayrık Dinamik Programlama)
DDP	: Differential Dynamic Programming (Farksal Dinamik Programlama)
DP	: Dynamic Programming (Dinamik programlama)
IDP	: Incremental Dynamic Programming (Artırımlı Dinamik Programlama)

ÇOK BARAJLI SİSTEMLERDE KISA SÜRELİ PLANLAMA İÇİN TAŞKIN KONTROL SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Ceyhan Havzası, Türkiye'nin önemli akarsu havzalarından biridir ve taşkın kontrolü bu bölgede büyük bir öneme sahiptir. Uzun ve kısa süreli planlama, taşkınların etkilerini minimize etmek ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını sağlamak amacıyla taşkın kontrol seviyelerinin belirlenmesinde kullanılan stratejilerdir.

Uzun süreli planlama, genellikle havza ölçeğinde yapılan bir planlama sürecidir. Bu süreçte, havzanın hidrolojik özellikleri, yağış miktarları, akış debileri, su tutma tesislerinin kapasitesi gibi faktörler dikkate alınarak taşkınlarla ilgili senaryolar ve risk analizleri oluşturulur. Bu analizler sonucunda, havzanın taşkın potansiyeli ve gelecekteki iklim değişikliklerinin etkisi göz önünde bulundurularak taşkın kontrol seviyeleri belirlenir. Bu kontrol seviyeleri, su tutma tesislerinin yapısının, su bırakma politikalarının ve diğer önleyici önlemlerin belirlenmesinde temel bilgileri sağlar.

Kısa süreli planlama ise daha olay odaklı bir yaklaşımdır ve genellikle mevcut hava durumu ve hidrolojik veriler kullanılarak gerçek zamanlı kararlar almayı hedefler. Kısa süreli planlamada, havza içindeki su tutma tesislerinin ve kanalizasyon sistemlerinin mevcut kapasitesi, hava durumu tahminleri, akış debileri ve yerel risk analizleri dikkate alınır. Bu bilgiler doğrultusunda, taşkın kontrol seviyeleri belirlenerek, gerekli önlemler alınır ve acil müdahaleler gerçekleştirilir.

Ceyhan Havzasında uzun ve kısa süreli planlama ile taşkın kontrol seviyelerinin belirlenmesi, havzanın taşkın riskini azaltmak ve su kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmak için önemli bir adımdır. Bu planlama süreçleri, havza yönetimi ve altyapı projelerinin geliştirilmesi aşamasında kullanılarak, taşkınların olumsuz etkilerini en aza indirmeyi hedefler. Böylece, Ceyhan Havzası ve çevresinde yaşayan insanlar, tarım alanları ve diğer önemli altyapıların taşkınlardan kaynaklanan risklere karşı daha güvende olabilir.

Anahtar Kelimeler: Ceyhan Havzası, Taşkın Kontrolü.

DETERMINATION OF FLOOD CONTROL LEVELS WITH LONG AND SHORT-TERM PLANNING IN CEYHAN BASIN

ABSTRACT

Ceyhan Basin is one of the important river basins of Türkiye and flood control is of great importance in this region. long and short term planning are strategies used to determine flood control levels in order to minimize the effects of floods and to ensure sustainable use of water resources.

Long-term planning is a planning process that is generally done at the basin scale. In this process, flood scenarios and risk analyzes are created by considering factors such as the hydrological characteristics of the basin, rainfall amounts, flow rates, and the capacity of water holding facilities. As a result of these analyzes, flood control levels are determined by considering the flood potential of the basin and the impact of future climate changes. These control levels provide essential information in determining the structure of impoundment facilities, water release policies and other preventive measures.

Short-term planning, on the other hand, is a more event-driven approach and generally aims to make real-time decisions using current weather and hydrological data. Short-term planning takes into account the current capacity of water holding facilities and sewage systems in the basin, weather forecasts, flow rates and local risk analysis. In line with this information, flood control levels are determined, necessary measures are taken and emergency interventions are carried out.

Determining flood control levels with long and short-term planning in the Ceyhan Basin is an important step to reduce the flood risk of the basin and to use water resources effectively. These planning processes are used in the development of watershed management and infrastructure projects, aiming to minimize the negative effects of floods. Thus, the people living in and around the Ceyhan Basin can be more secure against the risks of agricultural lands and other important infrastructures arising from floods.

Keywords: Ceyhan Basin, Flood Control.

1. GİRİŞ

Çok amaçlı optimal işletme prensipleri, çok barajlı sistemlerdeki değişen koşullara göre gerçek zamanlı olarak uygulanabilir. Ancak sistemin işletme stratejilerini belirlemek için uzun ve kısa vadeli planlama çalışmalarının dikkatlice entegre edilmesi önemlidir.

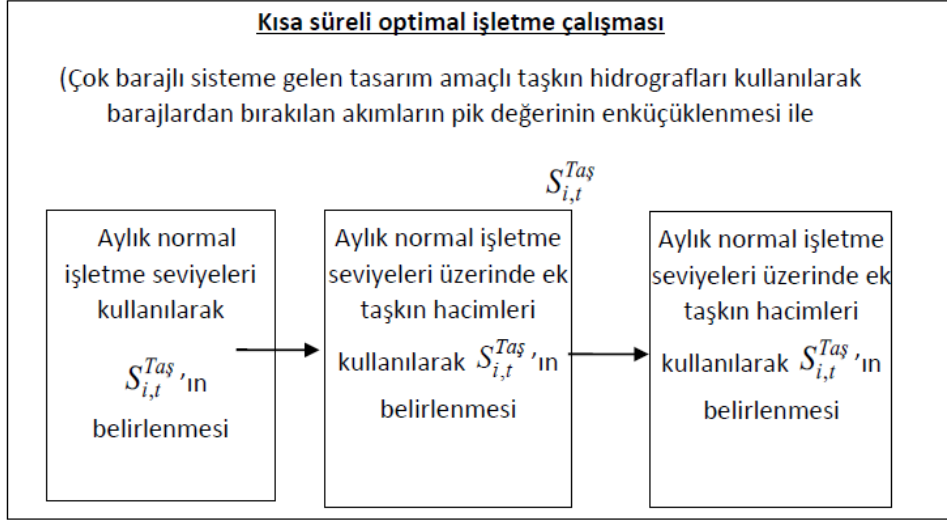
Uzun vadeli planlama, çok barajlı sistemlerin ekonomik ömrü boyunca elde edilecek en uygun faydayı hedefler. Bu nedenle, sistemin optimal boyutlandırılması ve uzun vadeli optimal işletme politikalarının belirlenmesi, bütünsel bir uzun vadeli planlama çerçevesinde ele alınır. Bu amaçlar genellikle aylık ortalama akımlar veya kritik dönem akımlarıyla ilişkilidir.

Taşkın kontrolü veya kuraklık kontrolü gibi hedefler, tekrarlanma süresi açısından uzun vadeli planlamanın bir parçası olarak ele alınırken, bu olayların sistematik olarak yönetilmesi, kısa vadeli (genellikle günlük veya saatlik akımlar olarak) işletme en iyileşmesinde ele alınmalıdır.

Gerçek zamanlı optimal işletme stratejileri, işletmelerin performansını artırmak için kullanılan stratejilerdir. Bu stratejiler, işletmenin günlük operasyonlarında doğru kararlar almak için gerçek zamanlı verilere dayanır. Aynı zamanda, uzun vadeli hedeflerin de gözetildiği bir çerçeve oluşturur. Bu sistem, enerji güvenliğini sağlama, toplam enerji verimliliğini maksimize etme ve taşkın kontrolü gibi hedeflere odaklanırken, diğer hedefler için de uyarlanabilir.

1.1. İşletme Optimizasyonu'nda Kısa Zamanlı Planlama

Kısa vadeli işletme optimizasyonunda, ardışık yaklaşık dinamik programlama (AYDP) olarak bilinen bir optimizasyon tekniği yaygın olarak kullanılır. Bu yaklaşım, barajın taşkın hidrografi akım verilerine dayanarak tasarım amaçlarına uygun olarak taşkın emniyet debi kısıtları ve ek taşkın kontrol hacmi gibi faktörleri dikkate alarak, barajdan bırakılan akımları minimize etmeyi ve aynı anda beklenen ortalama faydaya ulaşmayı amaçlar. Optimal taşkın kontrol seviyeleri, işletme sonucunda elde edilen işletme seviyelerinden çıkarılarak belirlenir. Bu yöntem, taşkın yönetimi için ek taşkın kontrol hacimlerini belirlemek amacıyla kullanılır.



Şekil 1.1. Ortalama işletme prosesi kısa süreli

Aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Uzun dönemli optimizasyon sonucunda, aylık normal çalışma seviyeleri arasında maksimum ve minimum çalışma seviyeleri (S_i^{Min} , S_i^{Maks}) belirlenir. Eğer bir taşkın meydana gelirse, bu aylık normal işletme seviyelerinde ($S_{i,t}^{Nor}$) tahmini taşkın hidrografı gözlemlenir ve taşkın güvenliğini sağlamak için barajdan boşaltılan akımın tepe değeri en aza indirilmeye çalışılır. Bu amaçla, taşkının kontrol seviyeleri ($(S_{i,f}^{Taş})_t$) belirlenir. Bu kontrol seviyeleri arasından en küçük değer, ilgili ay için optimum taşkın koruma seviyesi olarak kabul edilir ($(S_{i,f}^{Taş})_t$)
2. Eğer burada bu çözüm olayı gerçekleşmezse, aylık normal işletme seviyesi ($S_{i,t}^{Nor}$) ile minimum işletme seviyesi (S_i^{Min}) arasındaki fark kadar olmalıdır. Bu şekilde, aylık normal işletme seviyesinin üzerine ek taşkın kontrol hacmi eklenerek maksimum işletme seviyesi elde edilir. Bu yöntemle, başlangıçta aylık normal işletme seviyesiyle tasarım amaçlı taşkın hidrografları karşılanırken, aynı zamanda barajdan bırakılan akımın pik değeri taşkın güvenliği kısıtlamaları altında en aza indirilmeye çalışılır. Elde edilen işletme seviyelerinden ek taşkın kontrol hacmi çıkarılarak taşkın kontrol seviyeleri ($f=1,2,3...$) belirlenir. Elde edilen işletme seviyelerinden kullanılan ek taşkın kontrol hacmi çıkarılarak taşkın kontrol seviyeleri ($(S_{i,f}^{Taş})_t$) belirlenir. Bu seviyeler arasında

değerlerinden en küçük olanı $((S_{i,f}^{Tas})_t)$, ilgili ay için optimal taşkın kontrol seviyesi $(S_{i,t}^{Tas})$ olarak kabul edilir.

3. Bu durumda üretilen çalışma seviyelerinden ek taşkın kontrol hacmi çıkarılarak taşkın kontrol seviyeleri $((S_{i,f}^{Tas})_t)$ belirlenir. $(S_{i,f}^{Tas})_t$ En küçük değere sahip gelen ayda $(S_{i,t}^{Tas})$ olarak belirlenir.

4. Kısa süreli işletme optimizasyonunda, saatlik veya günlük zaman dilimleri kullanıldığından, akımların akarsu yatağında baraj aksına taşınması için belirli bir yaklaşım gerekmektedir. Bu bağlamda, Muskingam, dinamik dalga, kinematik dalga gibi çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu araştırmada, kinematik dalga modeli kullanılarak su akımlarının baraj aksına taşınması incelenmektedir. Kinematik dalga modeli, İvme ve basıncı, St. Venant denklemlerinde terimlerini yok sayarak sadece süreklilik denklemi ile dalga hareketini tanımlar.

1.2. Ceyhan Havzası'nın Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi'nin Uygulama Amacı

Seçtiğimiz havzamız Ceyhan'da, Ceyhan Nehri üzerinde birbirine bağlı olan çok sayıda barajdan oluşan bir su kaynakları sistemi bulunmaktadır. Bu sistemin ana bileşenleri arasında Menzelet, Kılavuzlu, Sır, Berke ve Aslantaş barajları yer almaktadır. Her bir baraj farklı amaçlarla inşa edilmiştir. Menzelet ve Kılavuzlu barajları enerji üretimi ve sulama, Berke barajları ise sadece enerji üretimi, Aslantaş barajı ise taşkın kontrolü, enerji üretimi, içme suyu ulaştırılması ve sulama gibi çok çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bu barajlara ilişkin teknik detaylar, detaylı olarak Bölüm 4'te sunulmaktadır.

Bu su kaynakları sisteminde, uzun süreli işletme modelinde akım miktarı 107 m³/ay ve zaman birimi olarak ay kullanılmaktadır. Öte yandan, gerçek zamanlı işletme, kısa zamanlı ve benzetim modellerinde ise akım miktarı 106 m³/saat ve zaman birimi olarak saat kabul edilmektedir. Bu farklı zaman ölçekleri, sistem performansının farklı perspektiflerini değerlendirmek ve çeşitli senaryolara uyum sağlamak için kullanılmaktadır.

2. SİSTEMİ EN İYİ ŞEKİLDE VERİMLENDİRME

2.1. Giriş

Ceyhan Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sistemi, yeraltı ve yüzey suyu sistemlerini kullanarak en verimli sonuçları elde etmek amacıyla karmaşık bir süreci içerir. Bu süreçte, sistem konfigürasyonu, boyutlandırılması ve işletmesi birlikte ele alınarak optimal çözümlere ulaşılması hedeflenir. Ayrıca, inşaat halinde olan tesislerin planlama sürecine dahil edilmesi de önemlidir. Su kaynakları sisteminde optimizasyon için kullanılan teknikler genellikle üç kategori altında toplanabilir:

1. Matematiksel programlama yöntemleri
2. Benzetim yöntemleri
3. Ampirik veya heuristik yaklaşımlar

Ampirik veya heuristik yaklaşımlar, tecrübe ve sezgilere dayalı olarak bazı durumlarda güvenilir çözümler sağlayabilen yöntemlerdir. Ancak kesin optimal çözümler elde etmek mümkün olmayabilir. Matematiksel programlama yöntemleri, tek barajlı veya çok barajlı sistemlerde uygulanabilen ve genellikle optimal çözümler elde etmeye yönelik olan yöntemlerdir.

1. Şans kısıtlı P.,
2. Doğrusal P.,
3. Dinamik P.,
4. Doğrusal olmayan P.,

gibi yöntemleri kullanılabilir. Çok barajlı sistemlerde enerji üretim fonksiyonunun doğrusal olmaması nedeniyle dinamik programlamanın çok tesirli olduğu görülmüştür. Bahsedilen bu benzetim sisteminde ise, deneysel olarak üst düzey çözümün arandığı bir yaklaşım olarak yöntemin parametrelerinde yapılan değişiklikler kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, benzetim sisteminde yapılan deneyler ve parametre ayarlamalarıyla daha iyi sonuçlara ulaşmayı hedefler. Bu yöntem, matematiksel programlamaya dayanan optimal politikalarla birlikte kullanıldığında faydalı sonuçlar sağlayabilir. Benzetim yöntemi, sistemin deterministik oluşumda optimizasyon modelinden oluşan sonuçlarla birlikte stokastik özelliklere sahip akım serileri kullanılarak risk analizleri yapılmasını sağlar.

Bu çalışmada, Ceyhan Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sistemi için dinamik programlama yöntemi kullanılarak kısa ve uzun zamanlı planlama ile gerçek zamanlı işletme optimizasyonu modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerin sonuçlarını değerlendirmek için bir benzetim modeli tasarlanmıştır.

Uzun vadeli planlama sürecinde, aylık akım verileri kullanılarak güvenilir güç ve toplam enerjinin maksimize edilmesi hedeflenir. Bu şekilde, aylık normal çalışma seviyeleri belirlenir.

Sonrasında, kısa ve uzun zamanlı planlamadan gerçekleşen optimal politikalar gerçek zamanlı işletme optimizasyonunda birleştirilerek, taşkın oluşma olasılığı da göz önünde bulundurularak en uygun çözüm araştırılır. Bu optimal sonuçlar gerçek işletme koşullarına uygunluğunu değerlendirmek için benzetim modelleri kullanılarak incelenir.

Bu çalışma, Ceyhan Havzası'ndaki su kaynaklarının optimal kullanımı için kapsamlı bir planlama ve işletme yöntemi sunmaktadır. Dinamik programlama ve benzetim yöntemlerinin birleşimi, sistemin verimli bir şekilde yönetilmesini ve taşkın risklerinin minimize edilmesini sağlamaktadır.

2.2. Dinamik Programlama

Dinamik programlama, çok barajlı su kaynakları sistemlerinin optimizasyonunda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, su kaynakları planlaması ve yönetimi için özellikle etkili bir çözüm sunmaktadır. Dinamik programlama, su kaynakları sistemlerinde, özellikle barajlardan oluşan sistemlerde, ardışık karar yapısını kullanarak optimizasyon problemlerini çözmek için etkili bir yöntemdir.

Dinamik programlamanın avantajlarından biri, değişken sayısı ile üssel bir şekilde artan işlem sayısını azaltabilmesidir. Problemi daha küçük parçalara bölerek çözüm arayışında olan dinamik programlama, çok sayıda değişkeni tek bir değişkene dönüştürerek işlem sayısını azaltmaktadır.

Ayrıca, dinamik programlama yönteminde doğrusallık koşulu aranmadığı ve sistemin bir bütün olarak değerlendirilmesine gerek olmadığı için problemi çözmek daha kolay hale gelmektedir. Dinamik programlama yöntemi üzerine yapılan çalışmalarda, zaman ve

hafıza kullanımını azaltmak, çeşitli barajlı, fazla amaçlı ve çok kısıtlı sistemleri işleyebilmek gibi farklı yaklaşımlar ve çözüm alternatifleri üretilmiştir.

Örneğin, lagranj çarpanları ve ardışık yaklaşım tekniği gibi yöntemler kullanılarak çok boyutlu sistemlerin optimizasyonu gerçekleştirilebilir. Ayrıca, ayrık dinamik programlama (DDP) yöntemiyle hesaplama kolaylığı sağlanarak işlem sayısı azaltılabilir.

Genel olarak, dinamik programlama yöntemi, baraj işletmelerinde karar verme problemlerini çözmek için etkili bir araçtır. Bu yöntem, sistemin karmaşıklığını ele alabilmesi, işlem sayısını azaltması ve çözümü kolaylaştırması nedeniyle tercih edilmektedir.

Dinamik programlamada üç farklı değişken türü bulunmaktadır:

1. Durum (state) değişkenleri: Sistemin herhangi bir anda sahip olduğu durumu ve davranışı tanımlayan değişkenlerdir. Örneğin, barajın işletme seviyesi (x) bir durum değişkeni olabilir.
2. Karar (decision) değişkenleri: Belirli bir hedefe göre sistemin kontrol edilebilir girdilerini belirlemeye yardımcı olan değişkenlerdir. Örneğin, enerji üretimi için barajdan bırakılacak su miktarı (d) bir karar değişkeni olabilir.
3. Aşama (stage) değişkenleri: Kararların verildiği zaman aralıklarını belirleyen değişkenlerdir. Genellikle zamanı temsil ederler. Örneğin, t zamanıyla belirtilen aşama değişkeni, kararların hangi zaman diliminde alındığını gösterir.

Bu üç değişken tipi, dinamik programlama yöntemiyle sistemdeki optimal çözümü bulmak için kullanılır. Su kaynakları sistemlerinde kullanılan optimizasyon modellerinde, kararların belirlenmesinde kullanılan değer takımına "politika" denir. Politika, sistemdeki kısıtlara bağlı olarak alınabilecek farklı kararların kombinasyonunu ifade eder.

Amaç fonksiyonu ise, belirli bir politikanın sistemin çıktıları üzerindeki etkisini ölçmek için kullanılan bir ölçüdür. Amaç fonksiyonu, genellikle sistemin performansını belirleyen hedefler veya kriterlerin matematiksel bir ifadesidir. Örneğin, enerji üretimi maksimizasyonu, sulama suyu talebinin karşılanması veya taşkın riskinin en aza indirilmesi gibi hedefler amaç fonksiyonu olarak tanımlanabilir.

Optimizasyon modelleri, politikaların belirlenmesinde amaç fonksiyonunu kullanarak en iyi çözümü bulmayı hedefler. Politikaların etkilerini değerlendirerek amaç fonksiyonunu optimize etmeye çalışır. Bu şekilde, sistem performansının iyileştirilmesi veya istenilen hedeflere en uygun politikaların belirlenmesi amaçlanır.

Genellikle dinamik programlama yöntemi, çok barajlı su kaynakları sisteminde kullanılarak karar verme problemleri çözülür. Bu problemlerde aşamalar (zaman dilimleri) ve durum değişkenleri (barajlardaki işletme seviyeleri) belirlenir.

Her bir aşamada, her bir durum değişkeni için en iyi karar, belirlenen amaç fonksiyonuna göre optimizasyon modeliyle hesaplanır. Durum değişkeni, her bir barajın işletme seviyesini ifade eder ve barajın minimum ve maksimum çalışma seviyeleri arasında değer alabilir.

Karar değişkeni, enerji çoğaltımı için bırakılacak su miktarını ifade eder ve belirli sınırlamalara tabi olabilir. Bu sınırlamalar, su kaynaklarının sürdürülebilirliği, talep karşılanması veya diğer kısıtlamalarla ilgili olabilir.

Optimizasyon modeli, her bir aşamada en iyi kararı belirleyerek amaç fonksiyonunu optimize etmeyi hedefler. Bu şekilde, sistemin performansını iyileştiren politikaları belirlemek için kullanılır. Aşama aşama ilerleyerek her bir durum değişkeni için en uygun kararı bulur ve böylece sistemdeki enerji üretimi, su kaynakları yönetimi veya diğer hedeflere yönelik en iyi çözümü sağlar.

Şekil 2.1, dinamik programlama yöntemiyle işletilen çoklu baraj sistemlerinin şematik gösterimini sunmaktadır. Yatay ekseninde Şekil 2.1'de, zaman ($t=1,2,3,\dots$) olarak gösterilmekte, dikey ekseninde durum değeri yer almaktadır. Dikey eksenindeki aralıklar, durum değişkenlerine karşılık gelirken, enerji üretimi için bırakılan su miktarlarını temsil eden çizgiler, iki durum değeri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. İşletme seviyesi, istenilen hassasiyete bağlı olarak minimum ve maksimum işletme seviyeleri Denklem 2.1'de eşit aralıklarla ayrılmaktadır.

$$S_{i,t+1} - S_{i,t} = F_{i,t} + Q_{i-1,t} + R_{i-1,t} - Q_{i,t} - R_{i,t} - B_{i,t} \quad (2.1)$$

İfadesindeki gibidir. Burada,

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

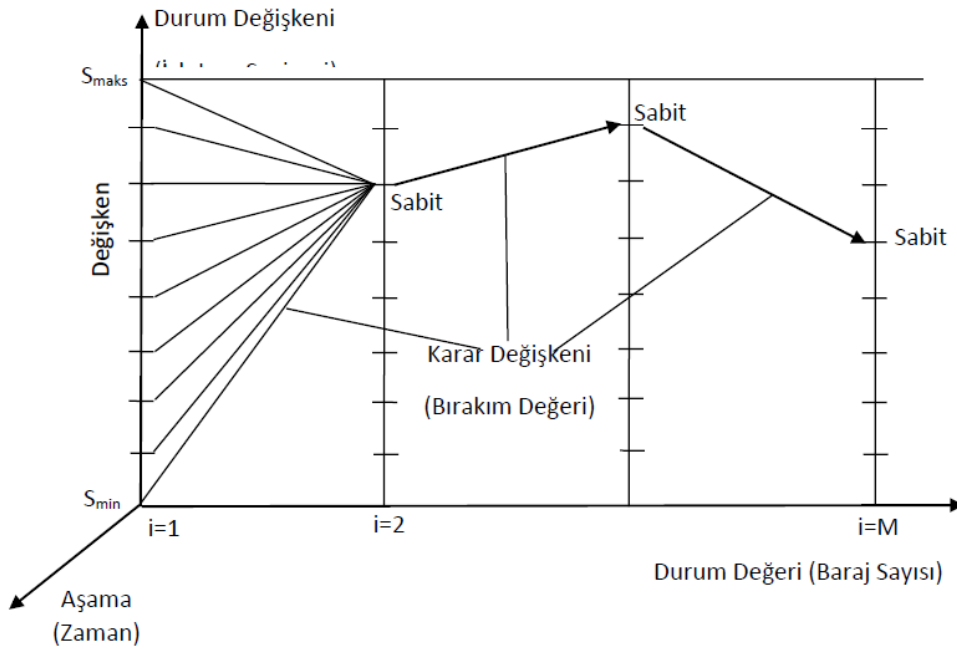
$S_{i,t}$ i-barajında t-zamanda depolanan su miktarı

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

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

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

tanımlanmaktadır.



Şekil 2.1. D.P. bir düzendeki durum-karar ve durum değeri değişkeninin grafiği

Dinamik programlama kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar, çok amaçlı olup çok barajlı su kaynakları sistemlerinin işletmesinde genellikle iki ana kategori altında sınıflandırılmaktadır. Bunlar;

1. Stokastik D.P.
2. Deterministik D.P.

şeklindedir.

Deterministik dinamik programlama üzerine birçok çalışma, çok amaçlı çok barajlı su kaynakları sistemlerinin işletmesi konusunda çalışılmıştır.

1. Farksal D.P.
2. Artırımlı D.P.
3. Ardışık yaklaşırmalı D.P.
4. Ayrık farksal D.P.
5. Çok-seviyeli artırımlı D.P.
6. Ardışık yaklaşırmalı artırımlı D.P.

olarak bilinir.

İlk deterministik dinamik programlama çalışması, Young (1967) kendisi yalnızca tek barajın işletilmesinde yapılmıştır. (Yakowitz, 1982) ve ardından Hall ve diğerleri (1969), Kaliforniya'daki bilinen barajlardan Shasta'da benzer bir çalışmayı uygulamıştır. Larson (1968) ise hafıza kullanımını ve işlemlerini azaltmak için, IDP modelini önermiş. Bellman ve Dreyfus (1962) tarafından önerilen ardışık yaklaşımı kullanarak dört barajlı bir sisteme uygulamıştır. Hall ve diğerleri (1969), taşkın kısıtı, güvenilir su, enerji faydası gibi eklemelerle önceki çalışmalarını geliştirmişlerdir. Çok sayıda araştırmacı, dinamik programlama yöntemini çok amaçlı ve çok barajlı su kaynakları sistemlerinin işletmesinde kullanmıştır. Roefs ve Bodin (1970), yöntemlerini çoklu baraj sistemlerine uygulayarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Heidari ve diğerleri (1971), işlem sayısını azaltmak için dört barajlı bir sistem için DDDP (Dynamic Dual Dynamic Programming) modelini geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, IDP yönteminin genelleştirilmiş bir versiyonu olan DDDP yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, Larson (1968) tarafından geliştirilen IDPSA (Incremental Dynamic Programming Stochastic Approximation) yöntemi, Yeh ve Trott (1971, 1972), Wunderlick ve Giles (1981) gibi araştırmacıların çok barajlı sistemlere denenmiştir. Askew ve Nopmongcol (1976), IDP sistemini çok amaçlı ve çok barajlı sistemler için bir derece daha yükselterek MIDP yani Multistage Incremental Dynamic Programming yöntemini tavsiye etmiştir. Yeh (1985) ve Yakowitz (1982), su kaynaklarının optimizasyonunda kullanılan farklı yöntemleri karşılaştırarak, çok barajlı havza sistemleri için en etkili yöntemlerden birinin IDPSA yöntemi olduğunu vurgulamışlardır. Sert (1982) tarafından yapılan bir çalışmada, bir akarsu üzerindeki seri hidroelektrik tesisin işletmesi ve optimal boyutlandırma konusu ele alınmıştır. Ayrıca,

Sert ve çalışma arkadaşları (1983) tarafından Sakarya Havzası'ndaki enerji üretimini en yüksek seviyede elde etmek için DPSA tekniği benzetim yöntemleriyle aynı anda kullanılmıştır. Duranyıldız ve Beyazıt (1985, 1987, 1988 ve 1988), Orta Sakarya Havzası'nda enerji üretmeyi maksimize etmek için DPSA yöntemini kullanmışlardır. Sert (1986)'da ise su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini hedefleyen havza planlamasında, genel amaçlı sistem yaklaşımı, havzanın tüm unsurlarını birbiriyle ilişkili bir sistem olarak ele almıştır. Ayrıca, Sert (1987)'de iki farklı araştırmada su kaynakları planlamasında sistem optimizasyonunun önemine değinmiştir. Karamouz ve diğerleri (1992), Baltimore yakınındaki Gunpowder Havzası'nda çok barajlı bir su kaynakları sistemi için DDP (Dynamic Dual Programming) yöntemini uygulamışlardır. Labadie (1999), DPSA tabanlı Genelleştirilmiş Dinamik Programlama Yazılım Paketi CSUDP'yi geliştirmiş ve Askew ve Nopmongcol (1976) birlikte yaptıkları çalışmada tavsiye edilen bir çözüm stratejisi kullanarak çözümlerin çok çabuk bir hızla optimum çevresinde birleşmesini sağlamıştır. Yurtal (1993, 1995) ise Türkiye'deki Seyhan Havzası'ndaki çok barajlı sistemlerin enerji optimizasyonu için IDPSA yöntemini başarıyla uygulamıştır.

Çözümünde kullanılan baraj işletme problemlerini iki farklı stokastik dinamik programlama (DP) yaklaşımı mevcuttur. Bunlar;

1. Dizisel stokastik optimizasyon yöntemleri,
2. Ardışık yaklaşımlarla Markov zincirleri yöntemi

şeklindedir.

İlk ekipteki yöntemler genellikle Chow ve Maidment (1981) ile Croley (1974) gibi araştırmacılar tarafından baraj işletmelerinde deneyimlenmiştir. Yeh (1985) ise bu yöntemler genellikle bir amaçlı ve bir barajlı sistemlerde uygulanmıştır. Ancak, stokastik dinamik programlama yöntemleri için iki baraj bile yeterince büyük bir sistem olarak kabul edilebilir. Bazı araştırmacılar Karamouz ve Vasilidis (1994) ve Stedinger (1984) gibi, stokastik dinamik P. bir barajlı sorunlara harika bir çözüm getirilmiştir. Sherkat ve çalışma arkadaşları (1985), stokastik durumlara genişletilmiş bir DPSA (Dynamic Programming with Stochastic Approximation) yöntemi üzerinde çalışmış ve tek bir barajda ardışık olarak sabit bırakım politikalarını kullanmışlardır. Ayrıca, Tejada-Guibert ve diğerleri (1995), Trinity-Shasta baraj programı California'da SDP (Stochastic

Dynamic Programming) kullanılarak yönetilmiştir. Kelman ve diğerleri (1990) daha sonra stokastik doğrusal yaklaşımlı senaryoları SDP içinde kullanarak ağ algoritması çözümü üzerinde bu tekniği uygulamışlardır. Bununla birlikte, bu yaklaşım hacimsel problemleri azaltmada başarılı olamamış ve hala çok barajlı sistemlere uygulanamamaktadır.

2.2.1. Kullanacağımız Programlamada Bilgisayar Zamanı ve Belleği

Chow (1975), çok barajlı ve çok amaçlı baraj işletmesinde kullanılan D.P. yöntemlerinin gereksinim duyduğu bilgisayar işlem süresi ve belleğini araştırarak belirlemiştir. Böylelikle, bellek gereksinimi,

$$R = 2.3^m + t.m.3^m \quad (2.2)$$

olarak tanımlanmıştır. Bilgisayar zamanı olarak yineleme başına düşen birim;

$$T_E = T_a.t.3^{2.m} \quad (2.3)$$

şeklinde olup, burada;

m : Baraj sayısı

T_E : Gerekli bilgisayar zamanı (s)

R : Gerekli bellek boyutu (bytes)

T_a : Bilgisayar tipine bağlı bir katsayı

t : Aşama sayısı

şeklinde ifade edilmektedir.

Durum değişkenlerinin sayısı arttıkça, dinamik programlama yöntemiyle çözüm süreci giderek daha karmaşık hale gelmektedir. Bu durumda, yoğun durum değişkenlerine sahip problemler için özelleştirilmiş çözüm teknikleri geliştirilmiştir. Ardışık yaklaşım veya teker teker ele alma metodu, bu tür problemlerin çözümünde etkili bir yaklaşım olarak

öne çıkmaktadır. Bu çalışmada da bu yaklaşımı temel alan bir çözüm tekniği uygulanmıştır.

2.2.2. Ardışık Yaklaştırmalı Dinamik Programlama

A.Y.D.P. yöntemi, bir dinamik programlama problemi olan çok sayıda karar değişkenine sahip bir problem çözmeyi hedefler. Bu yöntem, karmaşık bir problemi daha küçük ve daha yönetilebilir parçalara bölerek çözüm sürecini kolaylaştırır. Bu sayede, ana problemi çözmek için her bir karar değişkenini ayrı ayrı ele alarak çözümünü gerçekleştirir. Bu yöntemde, her bir karar değişkeni, diğer karar değişkenlerinin sabit olduğu varsayımıyla ele alınır ve böylece karmaşık birçok boyutlu problemin basitleştirilerek çözülmesi hedeflenir.

Ardışık yaklaştırmalı dinamik programlama yöntemi, başlangıçta işletme politikası belirleyerek, karar ve durum değişkenleri için uygun başlangıç değerlerini saptayarak, bir çözüm süreci başlatılır. Bu yaklaşım, problemi daha küçük parçalara ayırarak her bir durum değişkeni için ayrı ayrı optimize edilmiş çözümler elde etmeyi amaçlar. Bu şekilde, daha büyük ve karmaşık bir problemi daha yönetilebilir hale getirir. İşletme politikası belirleyerek, durum ve karar değişkenleri için uygun başlangıç değerlerini saptayarak, bir çözüm süreci başlatılır. Bu süreç, her bir durum değişkeni için tekrarlanır ve her bir durum değişkeni en az bir kez ele alınır. Durum değişkeni incelendiğinde, karar değişkenlerinde ve çözümlerde seçilen durumda bir değişiklik olmadıkça işleme devam edilir ve bu koşul sağlandığında bir sonraki durum değişkenine geçilir.

Bu yöntemin bize verdiği olumlu tarafı, n-boyutlu bir D.P. problemi yerine bir sıra tek-boyutlu problemi çözerek hesap etme süresini ve bellek gereksinimlerini azaltmasıdır. Bununla birlikte, yakınsama garantisi olmadığından, en uygun çözümü bulmak için başlangıç çözümünü titizlikle seçmek ve çoklu başlangıç çözümlerini denemek gerekebilir. Bu yöntemde, başlangıç çözümünün seçimi önemlidir çünkü farklı başlangıç çözümleri farklı sonuçlara yol açabilir. Bu yüzden, en optimal sonuca ulaşabilmek için farklı başlangıç noktalarının deneyimlenmesi ve kıyaslanması büyük bir önem taşır.

2.3. Gerçek Süreli En Uygun İşletme ve Gelecek Akımların Tahmini

Bu yaklaşımda, gerçek süreli en uygun işletmeyi sağlamak için akımların ve taleplerin doğru bir şekilde tahmin edilmesi kadar, çoklu baraj sistemlerinde akım öteleme ve planlama da kritik öneme sahiptir. Akım öteleme, barajlardan gelen akımların zamanında ve uygun şekilde yönetilmesini sağlayarak sistem performansını etkiler. Planlama süreci ise, kaynakların optimum şekilde tahsis edilmesini ve işletme hedeflerinin en iyi şekilde gerçekleştirilmesini sağlar. Bu nedenle, gerçek zamanlı optimal kontrol modellerinde hem tahmin yeteneği hem de akım öteleme ve planlama stratejileri önemli bir rol oynamaktadır.

Örnek olarak, Labadie ve diğer araştırmacılar (1981), Mishalani ve Palmer (1988) ve Georgakakos (1989) gibi bilim insanları, tahmin yeteneğinin önemini incelemek için yapılan çalışmalarda, çoklu baraj sistemlerinin gerçek süreli kontrolünde incelenmiştir. Örneğin, Kitamidis ve Wasimi (1983), Iowa'daki Des Moines havzasındaki çoklu baraj sistemi için günlük optimal taşkın kontrolünü sağlamak için ayrık zamanlı bir LOG (Linear Optimization of Graphs) modeli uygulamışlardır. Muskingum stili akarsu akış öteleme ve havza akış-yağış ilişkileri süreçleri gibi faktörler, bu modelde aktif bir şekilde dikkate alınmıştır. Ölçülen yağışlar girdi olarak kullanılmış ve akış öteleme, akış-yağış ilişkisi ve tahmini ufuk zamanı işlemlerine dayalı olarak zaman adımı ve düzenlemeler yapılmıştır. Bu işlem, Bertsekas (1987) tarafından "geriye doğru açık döngü" olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca, 2. dereceden bir amaç fonksiyonu, uzun zamanlı planlama çalışmaları sonucuna ulaşılarak, bırakımlarının sapmalarını ve ideal sistem durumları disipline edilerek tasarlanır. Bu sayede, gerçek zamanlı optimal kontrolün sağlanması amaçlanır.

Marino ve Loaiciga (1985) çalışma ekibinden geliştirilen birleştirilmiş kontrol tahmin modeli, akışları AR(I) (Otomatik Regresif Hareketli Ortalama) işlemiyle başarılı bir şekilde modellerken, Wasimi ve Kitanidis (1983) tarafından kullanılan durum-aralık formülasyonunu içermektedir. Bu model, sistem ölçümlerindeki belirsizlikleri etkili bir şekilde ele alabilmektedir.

Velasco ve McLaughlin (1990), bu yaklaşımı kompleks baraj sistemleri için aylık zaman artışlarına uyarlamış ve Caroni Havzası (Venezuela)'daki iki barajlı sisteme başarılı bir

şekilde uygulamıştır. Ancak, bu modeller gerçek zamanlı kontrol problemlerinde kapasite ve bırakım kısıtları gibi önemli faktörleri göz ardı edebilir ve optimizasyon prosedürlerini tam olarak zorlayamayabilir.

Velasco ve Mclaughlin (1990), sınırlı kaynaklarla en uygun çözüm yolu gerçekleştirilebilmesi için kabul edilebilir basitleştirmeler yaparak heuristik bir yaklaşım önermiştir. Bu çalışma, çok barajlı sistemler için pratik çözümler elde etmeyi hedeflemektedir. Öte yandan, Philbrick ve Kitanidis (1999), çok barajlı sistemlerde eşdeğerlik temelli yöntemlerin doğruluğunun LOG modeliyle ilişkilendirildiği varsayımlara dayanan çalışmaların öneminin azaldığına dikkat çekmiştir. Yani, eşdeğerlik temelli yöntemlerin, LOG modeli gibi daha kapsamlı ve kesin çözüm yaklaşımlarının varlığında gereksiz hale geldiği belirtilmektedir.

Çeşitli araştırmalar, özellikle taşkın kontrolü sırasında çoklu baraj sistemlerinin gerçek süreli kontrolünde, gerçekçi akış öteleme tekniklerinin birleştirilmiş kullanımının önemini vurgulamaktadır. Unver ve Mays (1990) tarafından yapılan bir çalışmada, gerçek süreli en uygun veya en ideal kontrol modeli baraj sistemleri için geliştirilmiştir. Bu modelde, tam dinamik özellikler ve düzensiz akış öteleme teknikleri başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Çalışmada çıkarılan sonuçlar, gerçek süreli işletme ve kontrolde daha hassas ve gerçekçi bir yaklaşım sağlamıştır. Bu çalışmada, St Venant denklemleri doğrusallaştırılarak kullanılmış ve GRG (Generalized Reduced Gradient) algoritmasıyla baraj bırakımı için kapı kontrolü doğrudan uygulanmıştır. Bu model, Lower Colorado Havzası'ndaki (Texas) Highland Lakes sistemi için gerçek süreli taşkın yönetim sisteminin bir parçası olarak uygulanmıştır. Akış tahminleri, Wasimi ve Kitanidis'in (1983) yaklaşımına benzer şekilde, havza yağış-akış modeli ve yağış ölçümleri verilerine dayanarak elde edilmiştir.

OCT (Optimal Control Theory) algoritması, düzensiz ve tam dinamik bir akış öteleme modeli kullanarak St Venant denklemlerine göre türev hesaplamalarının zorluklarından Labadie (1993)'de kaçınmıştır. Bu modelde, Seattle lağım sisteminin bir yerleşim bölgesinde gerçek zamanlı kontrol için yağmur suyu akışının depolama alanındaki etkileri incelenmiştir. Süre-karar adımları, 10-15 dakika döngüsünde olduğundan, akış tahminlerine bir yağış-akış modelinden elde edilen veriler ARMA (Auto Regressive Moving Average) tipi tahmin modeli kullanılarak daha ileri tahminler için kullanılmıştır.

Bu çalışmada, tahmini akışlar elde etmek için açık-loop geriye doğru adım işlemi kullanılmıştır. Bu yaklaşım, gerçek zamanlı akış kontrolünde daha güvenilir sonuçlar elde etmeye yardımcı olmuştur.

Shim ve diğerleri (2002), Han Nehri yatağında (Kore) öteleme katsayısı yöntemi, gerçek süreli taşkın kontrolü işletmeleri tarafından uygulanmıştır. Bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak elde edilen giriş verileri, uzaysal yağış verileri gerçek zamanlı olarak işlenerek kullanılmıştır. DPSA algoritması, çoklu baraj sistemine saatlik olarak güncellenen verilerle rantabl işletme politikalarını üretmek için verimli bir optimizasyon işlemi sağlamaktadır. Bu çalışma, gerçek zamanlı taşkın kontrolünde öteleme katsayısı yönteminin etkili bir şekilde kullanılabilmesini göstermektedir.

Hayes ve çalışma arkadaşları (1998), baraj sistemlerinin optimizasyonunda akarsu güzergahlarından ve su tutma tesislerinden su kalitesi bileşenlerinin dinamik öteleme tekniklerini direk içeren bir yaklaşımı benimsemişlerdir. Bu çalışmada, durum aralığının genişletilerek, su kalitesi bileşenlerinin de dikkate alındığı bir baraj sistem optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, su kalitesi faktörlerinin baraj sistemlerinin işletme politikalarına etkisini doğrudan değerlendirebilmeyi sağlamaktadır. Bu çalışmada, hidroelektrik santral gelirlerini maksimize eden günlük baraj bırakım programının geliştirilmesi ve aynı zamanda su kalitesi kısıtlarını göz önünde bulundurmak için Optimal Kontrol Teorisi algoritması kullanılmıştır. OCT algoritması, su kaynaklarının etkin bir şekilde yönetimi için matematiksel optimizasyon teknikleri kullanarak, baraj bırakım politikalarının belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Bu çalışma, hem ekonomik açıdan verimli bir işletme sağlamayı hem de su kalitesi kısıtlarını karşılamayı hedeflemektedir. Cumberland Nehri Havzası'ndaki Tennessee'deki çoklu baraj sistemine uygulanan bu model, baraj faydalarında kabul edilebilir kayıplarla önemli su kalitesi iyileştirmelerinin elde edilebileceğini göstermiştir.

Howard (1994), bu entegrasyon sayesinde, gerçek zamanlı baraj kontrolü, sürekli olarak güncellenen SCADA sisteminden elde edilen verilerle optimize edilmiş kararlarla daha verimli ve etkili bir şekilde gerçekleştirilebilir.. Bu çalışmada, gerçek zamanlı karar verme sistemi, görüntüleme ve uygun maliyetli telemetri donanımıyla birlikte kullanılarak veri yönetimi, hidrolojik ve güç amaçlı tahminlerin sağlanması, etkili sistem durumu göstergelerinin üretilmesi ve önerilen işletme kontrollerinin etkilerinin

benzetilmesi ve operatörlere bu kontrollerin ara yüzden gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır.

2.4. Kinematik Dalga Yöntemi

Gerçek zamanlı işletilen çok barajlı-amaçlı su kaynakları sisteminde, saatlik veya günlük zaman adımları kullanılır. Bu süreçte, bırakılan akım miktarı, akarsu yatağında ilerleyerek farklı noktalara ulaşır. Akarsu yatağında akımın değeri ve ulaşma süresi, akım öteleme teknikleriyle belirlenebilir. Bu yöntemler, su akışının etkilerini tahmin etmek ve optimum kontrol stratejileri geliştirmek için kullanılır. Bu teknikler:

1. Muskingum yöntemi
2. Difüzyon yaklaşımı
3. Dinamik dalga yaklaşımı
4. Kinematik dalga yaklaşımı

şeklinde söylenebilir.

Bu araştırmada, St. Venant denklemleri kullanılarak kinematik dalga yaklaşımı benimsenmiştir. Basınç ve ivme terimleri göz ardı edilerek, dalga hareketi yalnızca süreklilik denklemi kullanılarak açıklanarak, kinematik dalga yaklaşımı açıklanabilir.

Barre de Saint-Venant (1871) çalışmasıyla, Saint-Venant denklemleri, açık kanal akışını matematiksel olarak tanımlamak için kullanılan hidrolik ve akışkanlar mekaniği prensiplerini geliştirmiştir. Saint-Venant denklemlerinin açık çözümleri üzerine çeşitli çalışmalar, 1953 ile 1969 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Whitham ve Lighthill (1955) tarafından yapılan çalışmalar, kinematik dalga hareketinin akarsu yatağındaki taşkın dalgası ile yaklaşık bir şekilde uyumlu olduğunu göstermiştir. Henderson ve Wooding (1964) ile birlikte Wooding (1966 ve 1966), kinematik dalga yaklaşımının kuantatif tanımını ortaya koymuştur ve Brakensiek (1967), kinematik dalga yaklaşımını kullanarak akarsu yatağındaki hidrografın tahmin edilmesini açıklamıştır. Kinematik dalga yaklaşımını uygulayan araştırmacılar arasında Meadows ve Stephenson (1976), Eagleson (1970) ile Meadows ve Overton (1986) bulunmaktadır. Bu yaklaşım, akış ve yağış arasındaki süreci açıklamak için kullanılmıştır. Akışın taşınması üzerine çalışma yapan Overton (1970), kinematik dalga yaklaşımını kullanmıştır. Kinematik ve difüzyon

ıkarımlarının uygulanma kabiliyetini göstermek amacıyla, Ponce ve ekibi (1978) bir araştırma yürütmüştür. Sherman (1982 ve 1978), kinematik dalga yaklaşımının yüzeysel sulamanın uygun olduğunu önermiştir. MacArthur ve Devrices (1979), kinematik dalga kaydırma yöntemini HEC-1 simülasyon programında uygulamışlardır.

2.5. Kullanılan Modelleme Aracı: MATLAB ile Programlama

MATLAB, geniş bir ürün yelpazesine sahip olan bir programlama dili olarak günümüzde çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle teknik hesaplamalarda yüksek performanslı bir çözüm sunan MATLAB, kolay kullanılabilir bir ortamda matematiksel problemlerin ve çözümlerinin hesaplanması, görselleştirilmesi ve programlanmasını sağlar. MATLAB'ın çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır ve bazıları aşağıda sıralanmıştır:

Mühendislik ve Bilim: MATLAB, mühendislik ve bilimsel hesaplamalar için önemli bir araçtır. Elektrik, elektronik, mekanik, havacılık gibi mühendislik alanlarında ve fizik, kimya, biyoloji gibi bilimsel araştırmalarda MATLAB, analiz, modelleme, simülasyon ve veri analizi gibi çeşitli işlemleri gerçekleştirmek için kullanılır.

Veri Analizi ve İstatistik: MATLAB, büyük veri kümelerinin analizinde etkili bir şekilde kullanılabilir. İstatistiksel analiz, veri görselleştirme, makine öğrenmesi gibi alanlarda MATLAB'ın güçlü araçları mevcuttur.

Finans: MATLAB, finansal modelleme, risk yönetimi, portföy analizi gibi finansal işlemlerde yaygın olarak kullanılır. Finansal verilerin analizi, zaman serisi analizi ve finansal hesaplamalar MATLAB'ın güçlü yönlerinden birkaçıdır.

Görüntü İşleme ve İşaret İşleme: MATLAB, görüntü işleme ve işaret işleme uygulamalarında sıkça tercih edilen bir araçtır. Görüntü işleme algoritmalarının tasarımı, işaret işleme filtreleri ve sinyal analizi gibi işlemler MATLAB ile kolaylıkla gerçekleştirilebilir.

MATLAB ismi, İngilizce'de "MATrix LABoratory" yani Matris Laboratuvarı anlamına gelen kelimedenden türetilmiştir. Bu isim, MATLAB'ın temel amacı olan matris hesaplamalarıyla ilişkilidir. MATLAB, aslında LINPACK ve EISPACK tasarımlarından türetilen matris yazılımına kolay erişim sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. MATLAB'te

LAPACK ve BLAS kütüphanelerini içermesi ve matris hesaplamaları için optimize edilmiş bir motor sunmasıdır. Bu kütüphaneler, matris işlemlerinin verimli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar ve MATLAB'ın gücünü artırır. MATLAB, matris tabanlı hesaplamaların yanı sıra çeşitli analiz, modelleme, veri görselleştirme ve programlama özellikleriyle de öne çıkar.

MATLAB, boyutlandırma gerektirmeyen etkileşimli bir sistemdir ve temel veri elemanı dizi (array) olarak kullanılır. Bu özellik, özellikle vektör ve matris tabanlı bir çok teknik kalkülüs çözümünü, etkileşimli olmayan dillerde (örneğin C veya FORTRAN) yazılan bir programa göre daha kısa hale getirir. MATLAB'ın dizi tabanlı yapısı, matematiksel formüllerin ve işlemlerin doğrudan uygulanabilmesini sağlar. Dizi tabanlı programlama, matris ve vektör operasyonları için optimize edilmiş işlevlerin kullanılmasını sağlar, bu da kodun daha hızlı ve daha etkili çalışmasını sağlar. Bu özellikler, MATLAB'ı matematiksel hesaplamalar, sayısal analiz, veri işleme ve modelleme gibi alanlarda tercih edilen bir dil yapar. MATLAB, etkileşimli doğası sayesinde hızlı prototipleme, hata ayıklama ve sonuçların anında görüntülenmesi gibi avantajlar sunar. Bu da kullanıcıların teknik hesaplamaları daha hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirmesini sağlar.

MATLAB, bir dizi matematiksel işlemi gerçekleştirebilen çok yönlü bir programlama dili ve ortamıdır. İşte MATLAB ile uygulanabilen bazı matematiksel çözümler ve uygulamalar:

- **Veri Çözümleme (Data Analysis):** MATLAB, veri setlerinin analizini gerçekleştirmek için çeşitli istatistiksel fonksiyonlar ve grafikleme araçları sunar. Veri manipülasyonu, veri görselleştirme, istatistiksel testler ve regresyon analizi gibi işlemler MATLAB ile kolaylıkla gerçekleştirilebilir.
- **Doğrusal Cebir (Linear Algebra):** MATLAB, matrislerin işlemlerini yapmak, doğrusal denklem sistemlerini çözmek, özdeğer ve özvektör analizleri yapmak gibi doğrusal cebir problemlerini çözmek için kullanılabilir.
- **İşaret İşleme (Signal Processing):** MATLAB, ses, görüntü ve diğer sinyal işleme uygulamaları için birçok fonksiyon ve araç sağlar. Sinyal filtreleme, spektral analiz, sinyal restorasyonu, ses işleme ve görüntü işleme gibi işlemler MATLAB ile kolayca gerçekleştirilebilir.

- Polinom ve Ara Değer İşlemleri (Polynomials and Interpolation): MATLAB, polinomlara dayalı işlemler için bir dizi işlev sunar. Polinomlarla ilgili işlemler, polinom eğrileri çizimi, polinom köklerinin bulunması ve ara değer hesaplamaları MATLAB ile kolaylıkla yapılabilir.
- Sayısal İntegral Alma İşlemleri (Quadrature): MATLAB, sayısal integral hesaplamaları için çeşitli yöntemler ve işlevler sunar. Kesirli integral hesaplamaları, Riemann toplamları, Simpson kuralı gibi integral hesaplamaları MATLAB ile kolayca gerçekleştirilebilir.
- Diferansiyel Denklem (ODE) Çözümleri: MATLAB, diferansiyel denklemlerin sayısal çözümü için özel işlevlere ve araçlara sahiptir. İlk başlangıç değeri problemleri ve sıradan diferansiyel denklemler MATLAB ile etkili bir şekilde çözülebilir.

MATLAB ayrıca sonuçların ve veri setlerinin 2D ve 3D grafiklerini oluşturmak için zengin bir grafikleme araç seti sunar. Renklendirme, ışıklandırma ve animasyon gibi görsel efektlerle şekiller ve grafikler oluşturulabilir. Ayrıca MATLAB, dahili olmayan arayüz (MEX dosyaları) kullanarak FORTRAN ve C gibi diğer programlama dilleriyle iletişim kurabilir, böylece farklı dillerde yazılmış kodların birlikte çalışmasını sağlar.

Başlangıçta MATLAB, sayısal hesaplamaları yerine getirmek için geliştirilmiştir. Fakat bir sonraki modifiyelerinden itibaren Symbolic Math Toolbox adlı program uygulama paketi dahil edilmiştir ve bu sayede sembolik matematiksel işlemleri de gerçekleştirebilir şekilde düzenlenmiştir. Symbolic Math Toolbox'un temelini Maple sistemine ait hesap edebilme makinesi oluşturur. Maple, birçok farklı üniversiteler tarafından geliştirilen sembolik matematik sistemi olarak bilinir. MATLAB'ın Symbolic Math Toolbox'u, Maple sisteminin çekirdeğini kullanarak sembolik matematik işlemlerini gerçekleştirebilme yeteneğini sağlar. Bu sayede MATLAB, sayısal hesaplamaların yanı sıra sembolik matematiksel işlemleri de yapabilen bir yazılım haline gelmiştir. Symbolic Math Toolbox, sembolik ifadelerin manipülasyonunu, sembolik denklem çözümlemeyi, integral hesaplamalarını ve daha birçok sembolik matematik işlemini gerçekleştirebilme imkânı sunar.

MATLAB'ın önemli özelliklerinden biri, ana paketine ek olarak "toolbox" adı verilen araç kutularının olmasıdır. Bu toolbox'lar, özel türden problemlerin çözümü için işlev

paketleri sunar. Matematiksel simülasyon, analiz, modelleme gerçek zamanlı görüntü ve işaret işleme, veri toplama ve kontrol, analiz, kontrol sistemi tasarımı, maliyet uygulaması gibi birçok uygulama alanında MATLAB fonksiyonlarını genişletir. Araç kutuları, MATLAB ortamına özel çözümler sağlayan kapsamlı bir fonksiyon paketi derlemesidir. Bazı araç kutuları, MATLAB'ın ana program yapısı içinde yer alırken, bazıları ise ayrı bir paket olarak sunulur. Örnek olarak, Simulink, Real-Time Workshop ve Stateflow araç kutuları bu kapsamdadır. Dinamik sistemlerin analizi, modellemesi, simülasyonu için kullanılan bir paket yazılım programı olan Simulink, yaygın olarak kullanılmaktadır. MATLAB'ın temel paketi içerisinde bulunan ODE fonksiyonları, diferansiyel denklem çözümleriyle dinamik sistemlerin çözümünü sunmaktadır; ancak Simulink, bu alanda daha büyük bir esneklik sağlar. Simulink, tıkla ve sürükle yöntemiyle blok diyagramları şeklinde kolaylıkla modeller oluşturmayı sağlar. Modeller, grafiksel bir kullanıcı arayüzü (GUI) ile oluşturulur ve matematiksel bağlantıları görsel şekillerle ifade etmek için kağıt üzerinde çizmek kadar kolaydır. Simulink, geniş bir blok kütüphanesine sahip bir yazılımdır. Model hazırlandıktan sonra, tipik olarak Simulink menüsünden seçilen integral hesaplama veya türev denklemleri çözme teknikleri kullanılarak modelin çözümü gerçekleştirilir.

MATLAB'ın Real-Time Workshop adlı fonksiyon uygulaması, gerçek zamanlı sistemler üzerinde hızlı prototip oluşturma yeteneklerini Simulink ve MATLAB'ın sağladığı özelliklerin bir uzantısı olarak sunar. Real-Time Workshop, gerçek zamanlı yazılım uygulamalarının hızlı bir prototipini oluşturmak için kullanılan bir pakettir. Bu paket, Simulink ve MATLAB'ın içinde bulunan yetenekleri kullanarak çeşitli gerçek zamanlı sistemler üzerinde çalışan uygulamaları geliştirmeyi sağlar. Simulink, gerçek zamanlı sistemlerin modellemesi, simülasyonu ve analizi için kullanılan güçlü bir araçtır. MATLAB ise genel hesaplama ve veri işleme yetenekleri sunar. Real-Time Workshop ise bu iki aracı bir araya getirerek gerçek zamanlı uygulamaların prototipini hızlı bir şekilde gerçekleştirir. Real-Time Workshop, Simulink modellerini gerçek zamanlı sistemler için optimize edilmiş C veya C++ koduna dönüştürür. Bu sayede, gerçek zamanlı donanım veya diğer gerçek zamanlı platformlar üzerinde çalışan uygulamaların hızlı prototipleri oluşturulabilir. Bu paket, gerçek zamanlı sistemler üzerinde çalışan uygulamaların geliştirilmesi sürecini hızlandırır ve gerçek zamanlı yazılım uygulamalarının etkili bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar.

Real-Time Workshop, MATLAB'ın bileşenleri ve diğer araçları arasında yer alır ve Simulink'te kurulan modellerden otomatik olarak gerçek zamanlı C kodu üretir. Gerçek zamanlı yazılım uygulamalı paketleri olan xPC Target, Real-Time Windows Target gibi araçlarla entegre olarak kullanılabilen bu kodlar, MATLAB ve Simulink tarafından oluşturulur. Bu sayede veri toplama ve gerçek zamanlı kontrol algoritmaları gibi uygulamalar kolaylıkla oluşturulabilir. MATLAB sistemi 5 ana kısımdan oluşur:

1. MATLAB Language: MATLAB dilinin temel bileşenlerini içerir. Bu bileşen, matematiksel operasyonlar, değişken tanımlama, kontrol yapıları, fonksiyonlar ve diğer temel programlama öğelerini içerir.
2. MATLAB Graphics: MATLAB'ın grafikleme ve görselleştirme yeteneklerini içerir. 2D ve 3D grafikler, plotlamalar, görsel veri analizi, animasyonlar ve interaktif grafik araçları bu bileşenin bir parçasıdır.
3. MATLAB Apps: MATLAB'ın önceden hazırlanmış uygulamaları ve araçlarıdır. Bu bileşen, sinyal işleme, optimizasyon, kontrol sistemleri, veri analizi gibi farklı alanlarda kullanılan özel uygulamalar ve araçlar içerir.
4. MATLAB Math and Linear Algebra Libraries: MATLAB'ın matematiksel hesaplamalar için kullanılan kitaplıklarını içerir. Bu bileşen, lineer cebir, sayısal hesaplama, diferansiyel denklemler, integral hesaplamalar ve diğer matematiksel işlemler için optimize edilmiş fonksiyonları içerir.
5. MATLAB Toolbox and Simulink: Bu bileşen, MATLAB'ın çeşitli uygulama alanlarına yönelik genişletme paketlerini ve Simulink modelleme ve simülasyon aracını içerir. MATLAB toolbox'ları, spesifik uygulama alanlarına yönelik özel fonksiyonlar ve araçlar sağlar.

Bu 5 bileşen bir araya gelerek MATLAB'ın güçlü ve kapsamlı bir matematiksel hesaplama ve programlama ortamı oluşturur.

2.5.1. MATLAB Dili

MATLAB, matris/dizi odaklı bir dil olup, şartlı ifadeler, fonksiyonlar, veri yapıları, giriş/çıkış ve nesne yönelimli programlama özelliklerini içerir. Hem küçük çaplı ve basit programlamalar hem de karmaşık ve geniş çaplı uygulamalar için uygundur.

2.5.2. Grafikli İşlemleri

MATLAB, grafikleri yazıcıda basabilme ve vektörleri, matrisleri grafiksel olarak görüntüleme, grafiklere notlar ekleyebilme gibi özellikler sunar. Grafik araçları 2-D ve 3-D veri görüntülemesi, animasyon ve grafiklerin özelleştirilmesini içerir. MATLAB'ın grafik araçları, verilerin etkili bir şekilde temsil edilmesi ve analiz edilmesi için kullanıcı dostu bir platform sağlar.

2.5.3. Geliştirme Ortamı

MATLAB, Komut Penceresi, Komut Tarihsel Günlüğü, MATLAB Masaüstü ve Yazı Düzenleyici/Yanlış Ayıklayıcı gibi araçlar, kullanıcıların MATLAB işlemlerini gerçekleştirmesine yardımcı olur. MATLAB'ın sağladığı tarayıcılar ise yardım belgelerine erişim, çalışma ortamı yönetimi, dosya düzenleme ve arama yollarını ayarlama gibi işlemleri kolaylaştırır. Bu araçlar, MATLAB kullanıcılarına daha verimli ve kullanıcı dostu bir çalışma ortamı sunar.

2.5.4. MATLAB Kalkülatif İşlev Arşivi

MATLAB, fonksiyonlar ve kompleks aritmetik gibi temel matematiksel işlemleri gerçekleştirmek için bir dizi hesaplama algoritması içeren bir kütüphaneye sahiptir. Ayrıca, matris öz değerleri, matrisin tersi, hızlı Fourier dönüşümleri ve Bessel fonksiyonları gibi daha karmaşık hesaplama algoritmalarını da içerir. MATLAB'ın bu geniş hesaplama algoritması koleksiyonu, kullanıcılara matematiksel işlemleri kolaylıkla gerçekleştirebilme ve karmaşık analizler yapabilme imkânı sağlar.

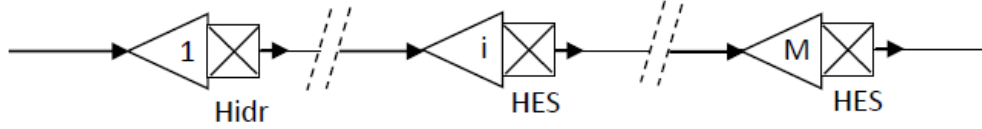
2.5.5. MATLAB Çalışma Programı Arabirimi

FORTRAN, MATLAB, C programları ile etkileşimli çalışabilme imkânı sağlayan bir kütüphanedir. Bu kütüphane, C ve FORTRAN programlarındaki işlevleri MATLAB'dan çağırma, MATLAB, kullanıcıların hesaplama motoru olarak kullanmaları ve MAT dosyalarını yazma ve okuma gibi işlemleri gerçekleştirmek için gerekli olan araçları içerir. MATLAB, kullanıcılara çok yönlü bir platform sunar ve C veya FORTRAN dilleri ile iş birliği yapabilme, hesaplama motoru olarak kullanabilme ve veri dosyalarını yönetebilme gibi esneklik sağlar.

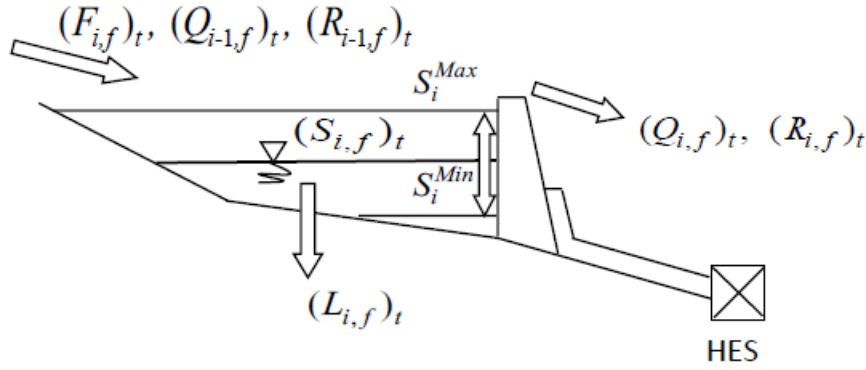
3. ÇOK BARAJLI SİSTEMİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ

3.1. Sistemin Tanımlanması

Verilen şekilde, ardışık olarak sıralanmış bir akarsu üzerinde çok sayıda baraj yer almaktadır, Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Şekil 3.2'de, bir i -barajının f (saat) ve t (ay) zamanlarına bağlı işletme ile ilgili değişkenler su kaynakları sisteminde gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Su kaynakları sisteminin, çoklu barajlardan oluşan seri bağlı taslak görünümü



Şekil 3.2. t-zamanında bir i -barajında çalışmasıyla ilişkili değişkenler

Burada, $i=1,2,...,M$: Barajların miktarını, $t=1,2,...,KM$: Aylık süresi ve $f=1,2,...,TM$: Saatlik süresini bizlere göstermekte olup, buradaki sistemin içinde herhangi bir i -barajı için f (saat) ve t (ay) zamanlarındaki su dengesi denklemi;

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

olarak gösterilirse, bu sistemin içinde,

$(F_{i,f})_t$: t-ayında f-saatinde i -barajının havzasından gelen akım miktarı

$(L_{i,f})_t$: i -barajında t-ayına f-saatine ait diğer kayıplarla buharlaşma

$(Q_{i,f})_t$: t-ayında f-saatinde i -barajından enerji meydana getirmek için bırakılan akım miktarı

$(S_{i,f})_t$: t-ayında f-saatinde i- barajında depolanan su miktarı

$(R_{i,f})_t$: i-barajında t-ayında f-saatinde dolu savaktan bırakılan akım miktarı

şeklinde tanımlanabilir. Her bir baraj için biriktirilen su hacmi, çok barajlı bir su kaynakları sisteminde, baraj minimum ve maksimum depolanan hacimleri ile sınırlanmıştır. Yani,

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

arasında olmakta ve,

S_i^{Min} : biriktirilen minimum su miktarını (i-barajında)

S_i^{Maks} : biriktirilen maksimum su miktarını (i-barajında)

göstermektedir.

Dolu savak kapasitesi ve barajdan enerji üretim kapasitesinde bağlı olarak, barajdan gönderilecek akımlar sınırlanabilir. Buna göre, barajdan bırakılan akımlar;

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

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

şeklinde ifade edilebilir. Daha sonra burada,

Q_i^{Maks} : maksimum su hacminin, enerji üretiminde bırakılabilecek kapasitesi (i-baraj)

R_i^{Maks} : maksimum su hacminin, dolu savaktan gönderilen kapasitesi (i-barajı)

göstermektedir. Barajlardan gönderilen akımların, üst ve alt sınırların toplamı olarak tanımlanabilir. Yani,

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

sınırlarında yer alıp, burada,

$W_{i,t}$:t-ayında, (i-baraj) akarsu yatağına gönderilmesi gereken kirlilik ve kuraklık kontrolü için minimum su hacmi

W_i^{Maks} :taşkın kontrolünde, (i-baraj) akarsu yatağına bırakılabilecek için en fazla su hacmi

şeklinde açıklanmaktadır.

3.2. Optimizasyon Model'inin Kısa Süreli Planlanması

Kısa zamanlı planlamanın, işletme optimizasyonu modelinde izlenen adımlar oldukça önemlidir ve aşağıda daha detaylı bir şekilde açıklanmıştır:

1. Problemin Tanımlanması: İlk adım, planlama sürecinde optimize edilecek hedefin ve kısıtların açıkça tanımlanmasıdır. Bu adımda, işletmenin hedefleri ve amaçları belirlenir. Örneğin, üretim miktarını maksimize etmek, maliyetleri minimize etmek veya teslim sürelerini en aza indirmek gibi hedefler olabilir. Aynı zamanda, kaynakların, zamanın ve diğer kısıtların sınırlamaları da dikkate alınır.
2. Matematiksel Modelin Oluşturulması: İkinci adımda, problemin matematiksel bir modeli oluşturulur. Bu model, planlama sürecinde kullanılacak değişkenleri, hedef fonksiyonlarını ve kısıtları içermelidir. Örneğin, üretim miktarları, envanter seviyeleri, iş süreçleri süreleri gibi değişkenler, hedef fonksiyonları ve kısıtlarla ilişkilendirilir. Matematiksel model, genellikle lineer veya tam sayılı programlama, dinamik programlama veya genetik algoritmalar gibi optimizasyon yöntemleriyle çözülebilir.
3. Veri Toplama ve Hazırlık: Modelin uygulanması için gerekli olan verilerin toplanması ve hazırlanması gerekmektedir. Bu adımda, kaynak verileri, iş süreçleri, maliyetler ve diğer ilgili veriler toplanır ve modelin kullanabileceği formata getirilir. Veri toplama sürecinde, güncel ve doğru verilere sahip olmak önemlidir. Ayrıca, verilerin güvenliğini ve gizliliğini sağlamak için uygun önlemler alınmalıdır.
4. Optimizasyon Algoritmasının Seçimi: İşletme optimizasyonu için uygun bir optimizasyon algoritması seçilir. Bu algoritma, modelin karmaşıklığına, veri miktarına ve hedeflere uygun olmalıdır. Lineer veya tamsayılı programlama problemleri için

Simpleks yöntemi veya Branch and Bound yöntemi gibi algoritmalar kullanılabilir. Dinamik programlama problemleri için Bellman denklemi veya eniyileme algoritmaları kullanılabilir. Genetik algoritmalar veya simüle edilen tavlama gibi meta-sezgisel yöntemler de kullanılabilir.

5. Modelin Uygulanması ve Çözümlemesi: Seçilen optimizasyon algoritması kullanılarak matematiksel model uygulanır ve çözülür. Bu adımda, modelin girdi verileri kullanılarak optimal bir planlama çözümü elde edilir. Modelin uygulanması ve çözümlemesi genellikle bilgisayar tabanlı yazılımlar veya programlama dilleri kullanılarak gerçekleştirilir. İşletme optimizasyonu modeli, planlama sürecindeki kararları desteklemek için otomatik olarak çalıştırılabilir veya karar vericilere rehberlik etmek için kullanılabilir.

6. Sonuçların Analizi ve Yorumlanması: Elde edilen sonuçlar analiz edilir ve yorumlanır. Bu adımda, planlama sonuçlarının işletme hedeflerine ne kadar uygun olduğu değerlendirilir. Sonuçlar, hedeflere ulaşılması için gereken kaynakların optimize edilmesini içerebilir. Sonuçların analizi, işletme performansının değerlendirilmesi ve gelecekteki planlama süreçlerinin geliştirilmesi için önemlidir.

7. Optimizasyon Sürecinin Yeniden Döngüsü: Kısa süreli planlama süreci sürekli olarak tekrarlanır ve iyileştirme için geri bildirim alır. Bu adımda, yeni veriler ve değişen koşullar göz önünde bulundurularak optimizasyon süreci yeniden başlatılır. İşletme optimizasyonu, dinamik bir süreç olarak kabul edilir ve sürekli olarak revize edilmelidir. Bu süreç, hedeflere ulaşmak için en iyi planlama kararlarının alınmasını sağlar.

Bu adımlar, kısa süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinin başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlar. Her adımın dikkatle planlanması, veri doğruluğunun sağlanması ve sonuçların analizi, işletmelerin verimliliklerini artırmasına ve hedeflerine ulaşmasına yardımcı olur.

3.3. Akarsular Yatağında Taşkın Öteleme Yöntemleri ve Uygulamaları

Akarsu yatağında taşkın öteleme konusu, hidroloji ve su yönetimi disiplinlerinde önemli bir konudur. Taşkınlar, yoğun yağışlar, kar erimeleri, barajların aşırı su bırakması veya doğal afetler gibi çeşitli faktörler sonucunda meydana gelir. Bu taşkınlar, akarsu yataklarının taşmasına ve çevrede ciddi etkilere yol açmasına neden olabilir. Bu nedenle,

taşkın yönetimi ve taşkın öteleme teknikleri, su kaynaklarının etkili bir şekilde yönetilmesi ve taşkın riskinin azaltılması için kritik öneme sahiptir.

Akarsu yatağında taşkın öteleme için kullanılan farklı yaklaşımlar ve teknikler mevcuttur. Bu yaklaşımlar, yapısal ve doğal önlemler olarak iki ana kategoride incelenebilir.

Yapısal nlemler:

- a. Barajlar ve Su Depolama Sistemleri: Barajlar, taşkın sularını depolayarak akarsu yatağında taşkın öteleme sağlayan önemli yapısal zmlerdendir. Barajlar, taşkın sularını tutarak ve kontrollü bir şekilde boşaltarak akışı düzenler. Bu sayede, taşkınların şiddeti azaltılarak yerleşim alanları ve tarım arazileri korunur.
- b. Kanalizasyon ve Drenaj Sistemleri: Taşkın sularının hızlı bir şekilde tahliye edilmesi ve kontrol altına alınması için kanalizasyon ve drenaj sistemleri kullanılır. Bu sistemler, yağış sularını toplar ve akışı yönlendirir. Taşkın sularını akarsu yatağından uzaklaştırarak, yerleşim alanlarındaki hasar riskini azaltır.
- c. Taşkın Dere ve Setleri: Taşkın dere ve setleri, taşkın sularının akışını kontrol altına alan yapay yapılar olarak kullanılır. Bu yapılar, taşkın sularını yönlendirerek, taşkın etkilerini minimize eder ve yerleşim alanlarını korur.
- d. Kıyı Koruma Yapıları: Deniz veya gl kıyılarında bulunan akarsu yataklarında taşkın öteleme için kıyı koruma yapıları inşa edilir. Bu yapılar, dalgaları emer, taşkın sularının yayılmasını önler ve kıyı bölgelerini korur.

Doğal nlemler:

- a. Doğal Su Tutma Alanları: Doğal su tutma alanları, taşkın sularının geçici olarak depolandığı ve akışının yavaşlatıldığı doğal alanlardır. Bataklıklar, gller, göletler ve sulak alanlar gibi doğal su tutma alanları, taşkın sularının tutulmasını sağlar. Bu alanlar, taşkının şiddetini azaltarak yerleşim alanlarını korur.
- b. Nehir Genişletme ve Nehir Havzası Yönetimi: Nehir genişletme, akarsu yatağının taşkın sularının kontrolsüz yayılmasını engellemek için uygulanan bir yöntemdir. Nehir havzası yönetimi ise, akarsu yatağının bütüncül bir şekilde yönetilmesini ve taşkın riskinin azaltılmasını hedefler. Bu yaklaşımlar, taşkın yayılmasını kontrol altına alarak hasar riskini azaltır.

Akarsu yatağında taşkın öteleme konusunda yapılan çalışmalar, hidrolojik verilerin toplanması, hidrolik modellemelerin yapılması ve analizlerin gerçekleştirilmesini içerir. Taşkın hidrografi analizi, taşkın olası senaryolarının belirlenmesi ve taşkın sularının davranışının anlaşılması açısından önemlidir. Hidrolik modellemeler ve bilgisayar tabanlı simülasyonlar, taşkın öteleme stratejilerinin değerlendirilmesi ve optimize edilmesi için kullanılır.

Akarsu yatağında taşkın öteleme çalışmaları, sürdürülebilir su yönetimi politikalarının geliştirilmesi, altyapı planlaması ve taşkın riski olan bölgelerin korunması açısından büyük önem taşır. İklim değişikliği gibi faktörlerle birlikte artan taşkın riski, bu konuda yapılan çalışmaların daha da önem kazanmasını sağlamaktadır. Bu çalışmalar, taşkın riskini azaltmak, su kaynaklarını etkili bir şekilde yönetmek ve toplumların güvenliğini sağlamak için sürekli olarak güncellenmeli ve iyileştirilmelidir.

Sonuç olarak, akarsu yatağında taşkın öteleme konusu, su yönetimi ve taşkın kontrolü açısından büyük öneme sahiptir. Yapısal ve doğal önlemler birlikte kullanılarak taşkın riski azaltılabilir ve su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetimi sağlanabilir. Akarsu yatağında taşkın öteleme konusunda yapılan çalışmalar, taşkın riskini minimize etmek, çevresel etkileri en aza indirmek ve toplumların güvenliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir.

3.3.1 Kinematik dalga modeli

Tanım: Kinematik dalga modeli, su dalgalarının hareketini yalnızca dalga yükseklikleri ve dalga dönemleri gibi kinematik özelliklerle açıklamak amacıyla kullanılan bir dalgaların modellenmesi yöntemidir. Bu model, su dalgalarının altta yatan fiziksel süreçler ve etkileşimlerini hesaba katmadan, yalnızca dalga hareketinin yüzey şeklini ve hareketini belirlemek için matematiksel denklemler ve ilişkiler kullanır.

Bu yaklaşımda, St Venant denklemiyle, süreklilik denklemi

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (3.6)$$

şeklinde yazabiliriz. Momentum denkleminde ise,

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial(\beta Q^2 / A)}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0 \quad (3.7)$$

şeklinde olup, kinematik dalga yaklaşımı için basınç ve ivme ifadelerini yok saydığımızda, momentum denklemi aşağıdaki ifadeye dönüşmektedir,

$$S_o = S_f \quad (3.8)$$

Momentum denklemi aşağıdaki şekilde de gösterilmektedir,

$$A = \alpha Q^\beta \quad (3.9)$$

Burada α ile β değerlerini belirlemek amacıyla $S_o = S_f$ ve $R = \frac{A}{P}$ olarak Manning

Denklemi yazıldığında, akarsudaki debi, Denklem 3.10'a daha önceden bulduğumuz Denklem 3.9 ve Denklem 3.8'deki verileri ekleyerek,

$$Q = \frac{S_o^{1/2}}{nP^{2/3}} A^{5/3} \quad (3.10)$$

olmakta ve akarsu kesit alanı, Denklem 3.11'de A'yı denklemde yalnız bırakılıp,

$$A = \left(\frac{nP^{2/3}}{S_o^{1/2}} \right)^{3/5} Q^{3/5} \quad (3.11)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada,

$$\alpha = \left(\frac{nP^{2/3}}{S_o^{1/2}} \right)^{0.6} \quad (3.12)$$

burada $\beta=0.6$ alınıp, Denklem 3.12, daha sonra Denklem 3.13'de yerlerine yerleştirilir,

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \alpha \beta Q^{\beta-1} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) \quad (3.13)$$

Sonucu çıkarılır. Buradan Denklem (14)'te ise,

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha \beta Q^{\beta-1} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q \quad (3.14)$$

şeklinde kurulur. Buradaki değişim dQ gibi yerine Denklem (3.15) geçirilirse,

$$dQ = \frac{\partial Q}{\partial x} dx + \frac{\partial Q}{\partial t} dt \quad (3.15)$$

gibi ifade gösterilir.

$$\frac{dQ}{dx} = \frac{dt}{dx} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (3.16)$$

Denklem (3.16)'da bulunmaktadır. Burada Denklem (3.17) ve Denklem (3.18)'de,

$$\frac{dQ}{dx} = q \quad (3.17)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{\alpha \beta Q^{\beta-1}} \quad (3.18)$$

ile ifade edilirse, o zaman denklem;

$$\frac{dQ}{dA} = \frac{1}{\alpha\beta Q^{\beta-1}} \quad (3.19)$$

şeklini almaktadır. Burada

$$\frac{dQ}{dA} = \frac{dx}{dt} \quad (3.20)$$

olmaktadır. Denklem (3.19)'da ve Denklem (3.20)'de bulunan çıkarımları Denklem (3.21)'de eşitleriz. Buna göre kinematik dalga hızı;

$$c_k = \frac{dQ}{dA} = \frac{dx}{dt} = \frac{1}{\alpha\beta Q^{\beta-1}} \quad (3.21)$$

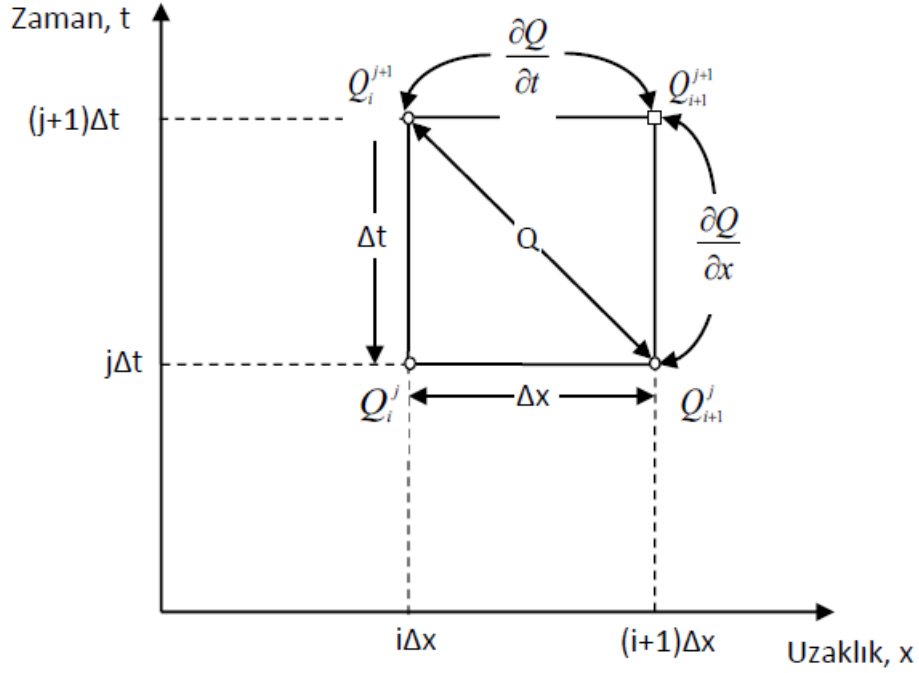
şeklinde sonuca varılır.

Kinematik Dalga Yaklaşımında Sayısal Analiz:

Denklem (3.14)'de gösterildiği gibi kinematik dalga için süreklilik ve momentum denklemi debiye bağlı olarak, Denklem (3.22)'deki

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha\beta Q^{\beta-1} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q \quad (3.22)$$

çözüm yoluna varılır.



Şekil 3.3. Kinematik dalga denkleminin çözümü için sonlu farklar gösterimi

Sayısal çözüm için kullanılan Denklem (3.25), onun konum ve zaman türevlerini zaman-konum koordinatları üzerindeki yaklaşıklarla ifade eder. Bu denklemin bilinmeyen değeri 'x' olarak gösterilir. İlk adımda j-zamandaki Q değeri hesaplanır, ardından j+1 zamandaki Q değeri belirlenir. Geriye doğru fark metodu ve sonlu farklar denklemini bilinmeyen 'x' değerini hesaplamak için kullanılır. Geriye doğru fark metodu, doğrusal bir yaklaşım yöntemidir ve sayısal çözümde sıklıkla kullanılır.

Burada, Q_{i+1} 'nin konum türevinin sonlu farklar formu Denklem (3.23)'teki

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x} \quad (3.23)$$

gibi olmaktadır. Benzer şekilde Q_{i+1} 'nin zaman türevinin sonlu farklar formu

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_{i+1}^j}{\Delta t} \quad (3.24)$$

Denklem (3.24) şeklinde ifade edilmektedir. Eğer, Q_{i+1}^{j+1} 'nın değeri Denklem (3.32)' deki $\alpha\beta Q^{\beta-1}$ terimindeki Q 'ya göre kullanılırsa, sonuç denklem Q_{i+1}^{j+1} 'de doğrusal olmayabilir. Doğrusal bir denklem üretmek için, aşağıdaki şekilde Denklem (3.25)'te yazılabilmektedir,

$$Q = \frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \quad (3.25)$$

Benzer şekilde, Denklem (3.26)'da yanal akış

$$q = \frac{q_{i+1}^j + q_i^{j+1}}{2} \quad (3.26)$$

şeklindedir. Elde edilen bu değerler Denklem (3.14)' de yerine konulduğunda, Denklem (3.27)'de,

$$\frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x} + \alpha\beta \left(\frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} \left(\frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta t} \right) = \frac{q_{i+1}^{j+1} + q_i^j}{2} \quad (3.27)$$

şeklini almaktadır. Burada Denklem (3.28)'ye bilinmeyen Q_{i+1}^{j+1} değeri eşitliğin bir tarafında bırakıldığında,

$$Q_{i+1}^{j+1} = \frac{\left[\frac{\Delta t}{\Delta x} Q_i^{j+1} + \alpha \beta Q_{i+1}^j \left(\frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} + \Delta t \left(\frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2} \right) \right]}{\left[\frac{\Delta t}{\Delta x} + \alpha \beta \left(\frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} \right]} \quad (3.28)$$

olarak elde edilmektedir.

Yanal akışın olmadığı durumda ise,

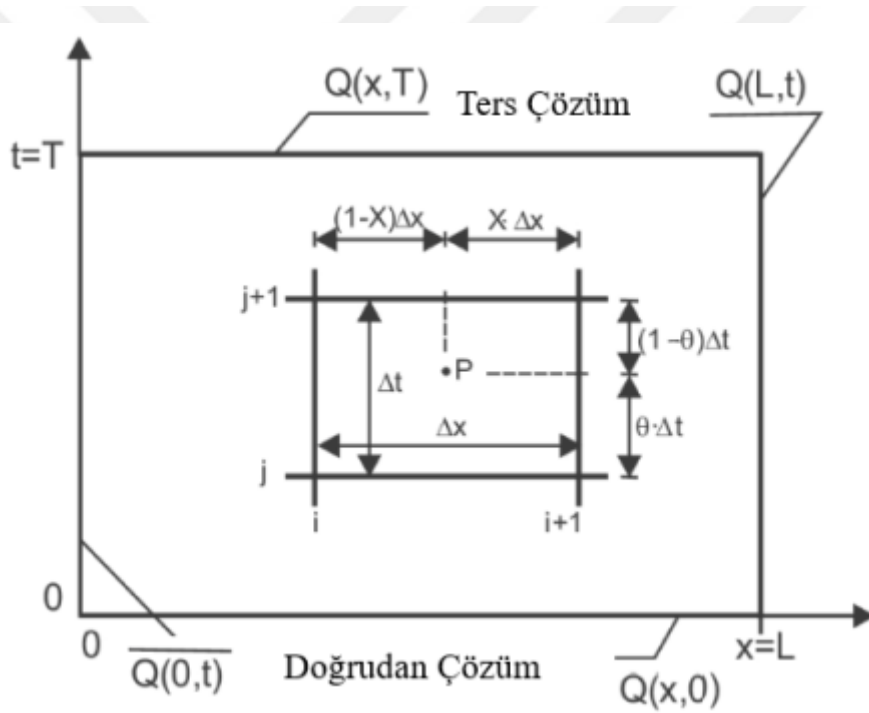
$$Q_{i+1}^{j+1} = \frac{\left[\frac{\Delta t}{\Delta x} Q_i^{j+1} + \alpha \beta Q_{i+1}^j \left(\frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} \right]}{\left[\frac{\Delta t}{\Delta x} + \alpha \beta \left(\frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} \right]} \quad (3.29)$$

şeklini almaktadır.

Kinematik Dalga Modelinin Çözümlemesi:

Kinematik dalga modelinde, modele giren veriler aşağıda madde madde yazılmıştır.

1. Barajdan akarsu yatağına bırakılan akım miktarı, $(Q + R)_i^B$
2. Akım miktarı için öngörülen ulaşma zamanı, (T_i)
3. Akarsu yatağındaki ortalama akım, (F_i^{Ort})
4. Akarsu yatağının uzunluğu, (L_i)
5. Akarsu yatağının eğimi, (S_o)
6. Akarsu yatağındaki tabandaki sürtünme katsayısı, (n_i)
7. Akarsu yatağındaki ortalama kesit özellikleri, $(b_i, h_i, \text{dikdörtgen kesitli})$
8. Kesite göre elde edilen ıslak çevre, (P_i)
9. Kinematik dalga yaklaşımı akım parametresi, $(\beta=0,6)$



Şekil 3.4. Kinematik dalga modeli

şeklindedir. Şekil 3.4 de görülen Kinematik dalga modelinde ağ içinde hareket edebilen P noktasında yaklaşık olarak hesaplanır. (Cunge ve diğerleri, 1980) Bu durumda, $i=1,2,3,4$ olarak her bir barajın numarasını temsil ederiz. Şimdi, barajlardan salınan akımlar akarsu yatağında taşınarak ötelenir ve diğer baraja ulaşır. Burada, akarsu yatağında ötelenen akımlar, o barajın havzasından gelen akımlara eklenerek birleştirilir. Bu süreç, havza akımlarını ve barajlar arasındaki su akışını etkileşimli bir şekilde açıklar.

1. Konumsal aralık (x) ve belirli bir süre aralığı (t) belirlenmektedir.
2. Kinematik dalga modelinde, akımın bir parametresi olan α_i değeri bulunmaktadır. Bu akım parametresi,

$$\alpha_i = \left(\frac{n_i \cdot P_i^{2/3}}{S_o^{1/2}} \right)^{\beta_i} \quad (3.30)$$

Denklem (3.30)'da sonucu çıkarılmaktadır

3. Bu α_i ve β_i akım özelliğiyle birlikte dalga hızı ortaya çıkar. Dalga hızı Denklem (3.31)'de

$$c_k = \left(\frac{1}{\alpha_i \cdot \beta_i \cdot (Q + R)_i^B} \right)^{\beta_i - 1} \quad (3.31)$$

şeklinde sonuçlanır.

4. dx aralığındaki dalğanın seyahat süresi,

$$dt_{c_k} = dx / c_k \quad (3.32)$$

hesaplanmaktadır.

5. Başlangıçta öngörülen dalğanın seyahat zamanı (dt_{c_k}) ve zaman aralığı (dt_{Q+R}) karşılaştırılmakta ve küçük seçilir. Seçilen zaman aralığı (dt) ile gösterilmektedir.
6. Akarsu uzunluğu (L_i), dx 'e ve akım miktarı için öngörülen zaman ($T_i^{Öngr}$), dt 'ye bölünerek grid sayıları elde edilmektedir. Yani, sırasıyla, zaman grid sayısı (M_i) ve konum grid sayısı (N_x),

$$M_t = T_i^{\text{Öngr}} / dt \quad (3.33)$$

$$N_x = L / (dx + 1) \quad (3.34)$$

şeklinde Denklem (3.33) ve Denklem (3.34)'de elde edilmektedir.

7. Denklem (3.29) ile, her konum ve zamandaki düğüm noktalarındaki akım değerleri tespit edilmektedir.

8. Her bir bırakılan akım değeri için yapılan bu işlemler, ulaşma zamanı ($T_i^{\text{Ulaş}}$) ve diğer baraja ulaşma değeri ($(Q + R)_i^{\text{Ulaş}}$) için elde edilen sonuçların incelenmesiyle belirlenir. Öngörülen zaman ($T_i^{\text{Öngr}}$) için elde edilen sonuçlar da göz önünde bulundurulmaktadır.

9. Bu belirlenen değerlerle, barajlar arasındaki bırakılan akım miktarına ulaşma değeri eğrileri ve göre ulaşma zamanı ve denklemleri ortaya çıkarılmaktadır.

10. Bu denklemler ya da eğriler sayesinde, herhangi bir bırakım miktarının diğer baraja ulaşma miktarı ve ulaşma zamanı kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

11. Diğer baraja ulaşan akımlar, buradaki baraj havzasından gelen akımlara eklenmektedir. Havzaya gelen akım,

$$F_{i,f} = F_{i,f} + (Q + R)_i^{\text{Ulaş}} \quad (3.35)$$

dinamik bir şekilde Denklem (3.35)'te değişmektedir.

4. ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ VE CEYHAN HAVZASI

4.1. Havzanın Konumu

Ceyhan Havzası, Türkiye'nin güneydoğusunda yer alan ve Ceyhan Nehri tarafından oluşturulan önemli bir su havzasıdır. Havza, Adana, Osmaniye, Kahramanmaraş, Gaziantep, Hatay ve Adıyaman illerini kapsayan geniş bir coğrafi alana yayılmıştır.

Ceyhan Havzası, Akdeniz Bölgesi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin kesiştiği noktada yer alır. Doğu Akdeniz'in doğu kıyısında yer aldığı için, havza Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Bölgede yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılıman ve yağışlı geçer. Bu iklim koşulları, tarım ve bitki örtüsü açısından zenginlik yaratır.

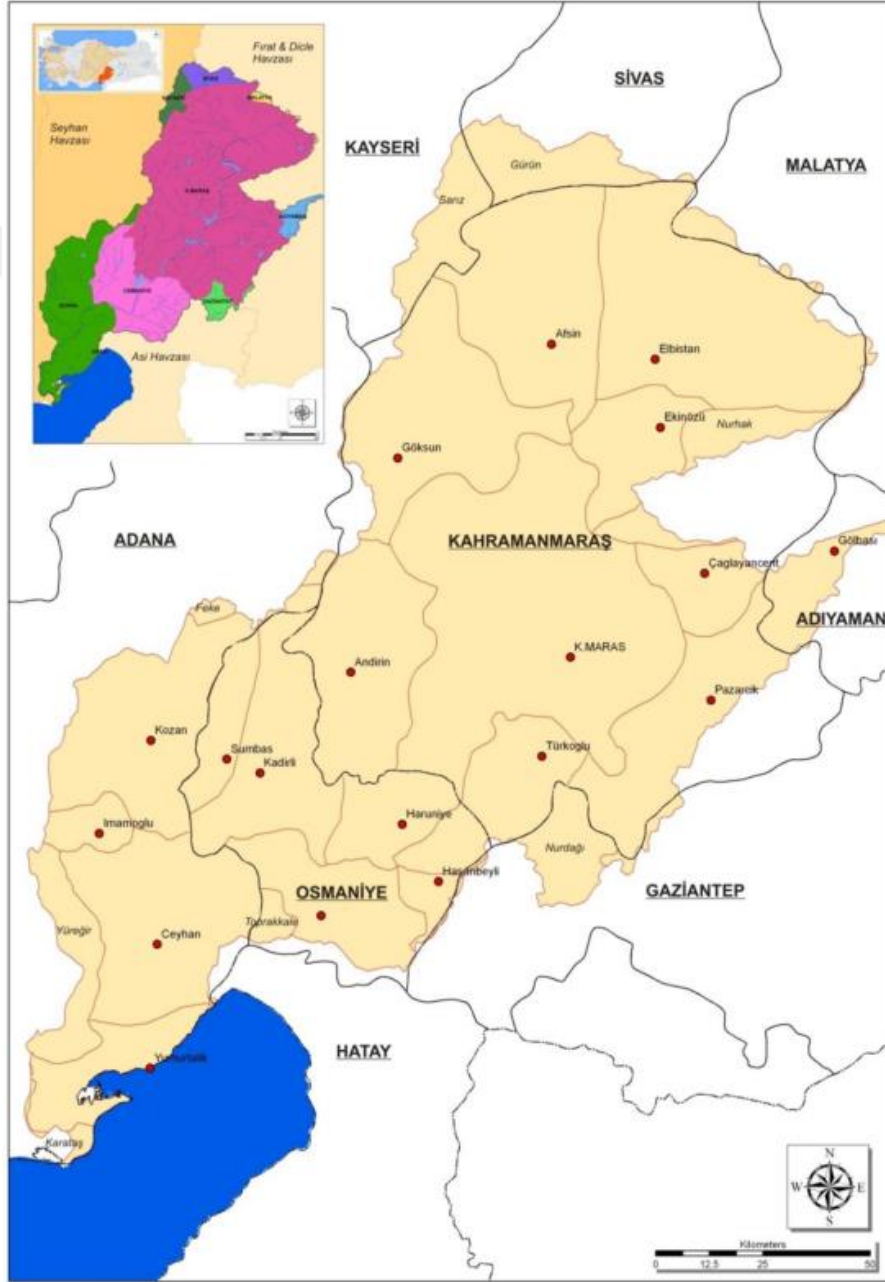
Havzanın en önemli akarsu kaynağı Ceyhan Nehri'dir. Nehir, Güneydoğu Toroslar'da başlayarak Akdeniz'e dökülen uzun bir akarsudur. Ceyhan Nehri, havzanın ana su kaynağıdır ve havzanın içinden geçerek önemli bir akarsu yatağı oluşturur. Nehir, dağlık alanlardan başlayarak geniş bir vadi boyunca akar ve önemli bir sulama potansiyeline sahiptir.

Ceyhan Havzası'nda yer alan diğer önemli akarsu yatakları arasında Seyhan Nehri, Göksu Nehri ve Asi Nehri bulunur. Bu akarsu yatakları, Ceyhan Nehri ile birleşerek geniş bir su ağı oluşturur. Havza, bu akarsu yatakları sayesinde su kaynakları ve tarım alanları açısından zengin bir potansiyele sahiptir.

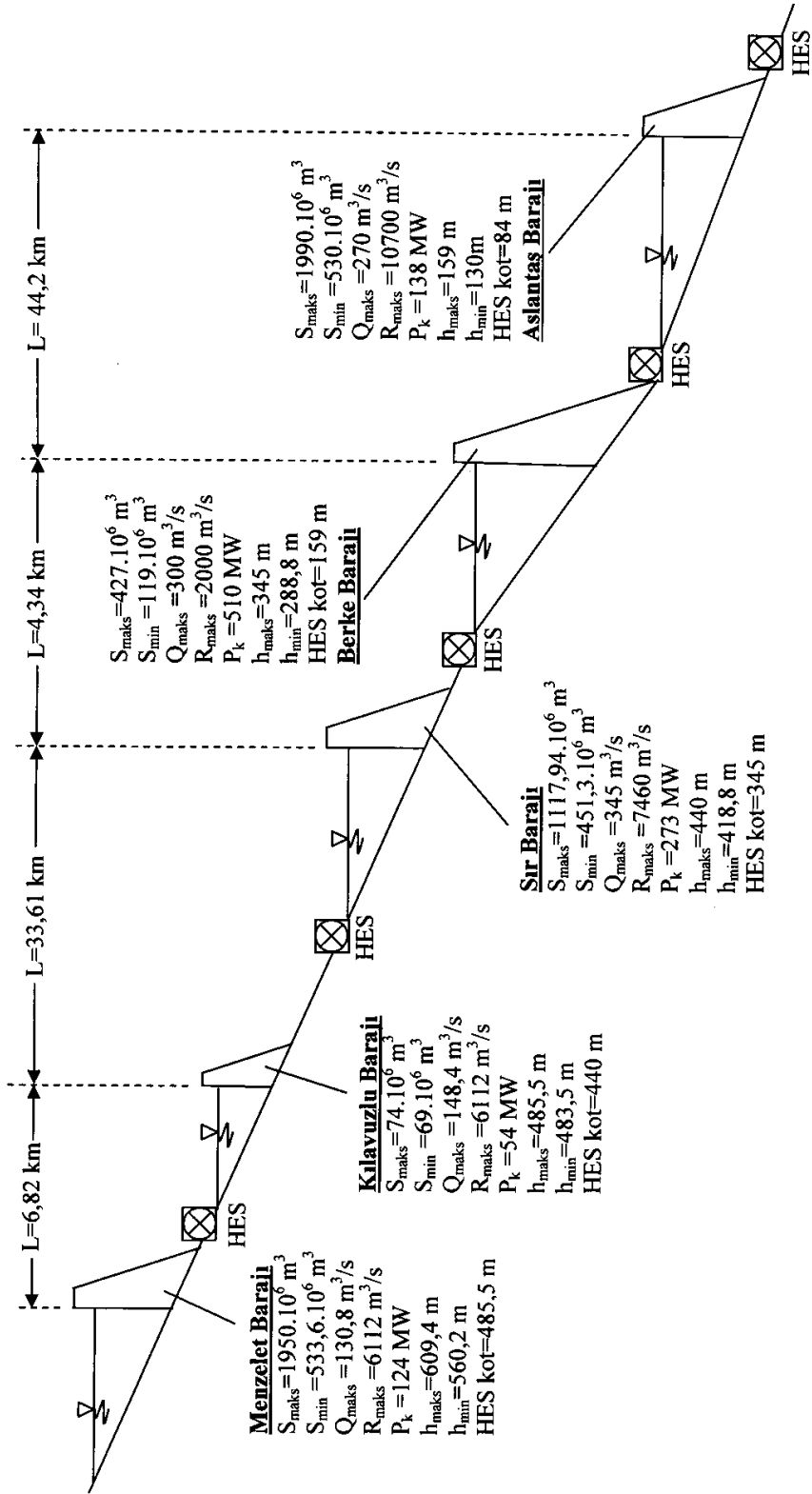
Havza, tarımsal faaliyetler açısından da büyük bir öneme sahiptir. Verimli toprakları ve uygun iklim koşulları sayesinde tarım sektörü gelişmiştir. Bu bölgede tahıl, sebze, meyve, zeytin ve üzüm gibi tarım ürünleri yetiştirilmektedir. Aynı zamanda, Ceyhan Nehri üzerindeki barajlar ve sulama sistemleri, tarım alanlarının sulanmasını sağlar ve verimli bir tarım faaliyetinin sürdürülmesine katkıda bulunur.

Ceyhan Havzası'nın coğrafi yapısı, düzlükler, platolar, vadiler ve dağlık alanlardan oluşur. Güneydoğu Toroslar ve Amanos Dağları, havzanın doğal sınırlarını oluşturur. Bu dağlık bölgeler, havzanın iklimi, hidrolojisi ve bitki örtüsü üzerinde önemli etkilere sahiptir. Ayrıca, havzada sulak alanlar, göller, bataklıklar ve sulak çayırlar gibi önemli ekosistemlere de rastlanır.

Sonuç olarak, Ceyhan Havzası'nın konumu, coğrafi yapısı ve akarsu yatakları hem tarım potansiyeli hem de su kaynaklarının yönetimi açısından büyük bir öneme sahiptir. Ceyhan Nehri'nin oluşturduğu akarsu yatakları, sulama, enerji üretimi ve ulaşım gibi alanlarda stratejik bir rol oynar. Havzanın çeşitli bitki örtüsü ve doğal güzellikleri, ekolojik denge ve biyolojik çeşitlilik açısından da zenginlik sunar. Ceyhan Havzası, hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli bir bölgedir.



Şekil 4.1. Havzası'nın şematik görünüşü (Ceyhan)



Şekil 4.2. Seçilen Barajlara ait teknik veriler

Tablo 4.1. Seçilen ardışık barajlara ait veriler

Barajlar	Menzele t	Kılavuzl u	Sır	Berke	Aslantaş
Yağış Alanı (km ²)	8340	8486	12950	13222	14874
Amaç	Sul.+En.	Sul.+En.	Enerji	Enerji	Sul.+Taş.+ En
Kurulu Güç (MW)	124	54	273	510	138
Baraj Yüksekliği (m)	150,5	56	120	201	95
Maksimum işletme seviyesi (m)	609,4	485,5	440	345	159
Minimum işletme seviyesi (m)	560,2	483,5	418,8	288,8	130
Maksimum Hacim (10 ⁶ m ³)	1950	74	1117,9 4	427	1990
Minimum Hacim (10 ⁶ m ³)	533,6	69	451,3	119	530
Kuyruksuyu kotu (m)	485,5	440	345	159	84
Dolu Savak Kapasitesi(m ³ /s)	6112	6112	7460	2000	10700
Enerji Üretimi Kapasitesi (m ³ /s)	130,8	148,4	114,25	300	270
Aylık Maksimum Akım(m ³ /s)	497.43	508.27	782.57	799.07	898.74
Aylık Minimum Akım(m ³ /s)	0	9.02	19.05	19.39	19.65
Aylık Ortalama Akım(m ³ /s)	65.94	76.09	119.65	122.26	136.69

Barajlara ait resimler, sırasıyla, Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7' de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Menzelet Barajı'nın görüntüsü



Şekil 4.4. Kılavuzlu Barajı'nın görüntüsü



Şekil 4.5. Sır Barajı'nın görüntüsü

Ceyhan Nehri'nin ana kolu, 510 kilometrelik uzunluğa sahiptir. Bu durumda, baraj aksından baraj aksına olan mesafeleri tespit etmek amacıyla, GEP'ten (Google Earth Programı) baraj aks yerlerinin koordinatları alınmıştır. Ceyhan Nehri'nin koordinatları, GPS tabanlı bir programda işlenerek, barajlar arası mesafeler metre olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler, Tablo 4.2' de açıklanmaktadır.



Şekil 4.6. Berke Barajı'nın görüntüsü



Şekil 4.7. Aslantaş Barajı'nın görüntüsü

Tablo 4.2. Baraj aksından aksına Ceyhan Nehri'nin uzunluğu

Barajlar	Uzaklık (m)
Menzelet-Kılavuzlu	6820
Kılavuzku-Sır	33610
Sır-Berke	4340
Berke-Aslantaş	44200

4.2. Buharlaşma Değerleri

Ceyhan Havzası'ndaki Ceyhan Nehri üzerinde yer alan su kaynakları sistemi incelenirken, barajlarda aylık periyotlarda oluşacak buharlaşma kayıpları sistem işletimi sırasında dikkate alınmaktadır. Ceyhan Havzası'ndaki su kaynakları sistemi ve çoklu baraj işletimi için, buharlaşma değerleri (mm/ay) Tablo 4.3'te sunulmuştur. Bu değerler, Çukurova Elektrik AŞ tarafından hazırlanan Hidroelektrik Enerji Santrali Fizibilite Raporu ve Berke Barajı'ndan elde edilmiştir.

Barajlarda meydana gelen buharlaşma miktarı, barajın işletme seviyesini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. İşletme sürecinde, herhangi bir barajdaki gölet yüzeyinden gerçekleşen buharlaşma miktarı, dönem sonuna ait işletme seviyesinden düşülmektedir. Bu nedenle, uzun süreli işletme modeline dayalı yazılan bilgisayar programında, su dengesi ilişkisi içinde buharlaşma faktörü dikkate alınmıştır.

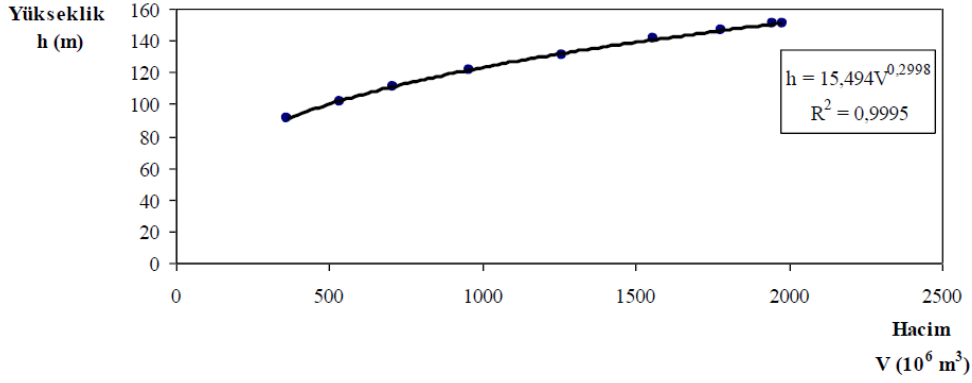
Tablo 4.3. Çok barajlı su kaynakları sistemi ile işletilmesi anında kullanılan buharlaşma değerleri (mm/ay) (Ceyhan Havzası)

OCA	ŞUB	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞUS	EYL	EKİ	KAS	ARA
48	10.4	30.3	82.7	132.8	197	242.7	227.6	157.7	89	34.9	11.1

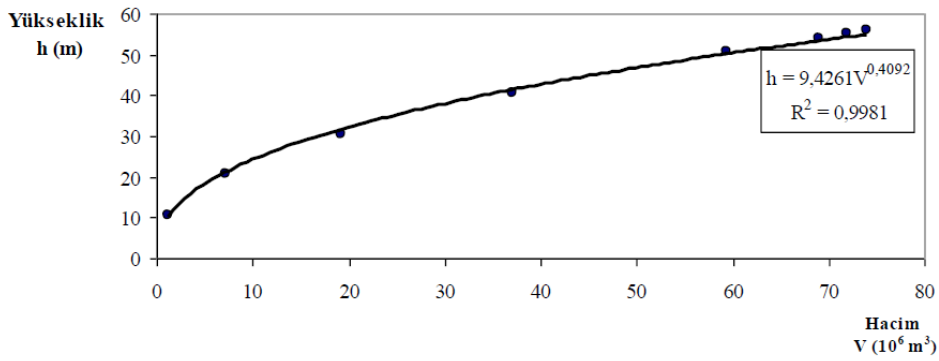
4.3. Yükseklik-Hacim İlişkileri

Su kaynakları sisteminde elde edilen enerji, barajdaki su seviyesine ve türbindeki akıma bağlıdır. Dolayısıyla, işletme seviyesine ulaşan su yüksekliğinin bilinmesi hayati önem taşır. Ceyhan Havzası'nda, Ceyhan Nehri'nin ana kolunda bulunan çoklu barajlı su kaynakları sisteminde, barajlara ait depolanan su miktarlarına göre yükseklik eğrileri

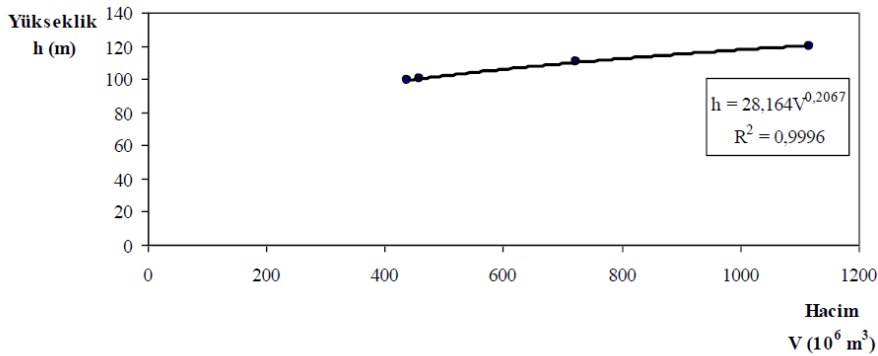
izilmiştir. Bu eğriler için $h=a.V^n$ şeklinde tanımlanan denklemnin regresyon analizi yapılarak n ve a katsayıları ile R^2 regresyon katsayısının değerleri belirlenip, grafik üzerine işlenmiştir. Kılavuzlu, Menzelet, Sır, Aslantaş ve Berke barajlarına ait hacim yükseklik eğrileri ve denklemleri, sırasıyla, şekil 4.8, 9, 10, 11 ve 12’de gösterilmektedir.



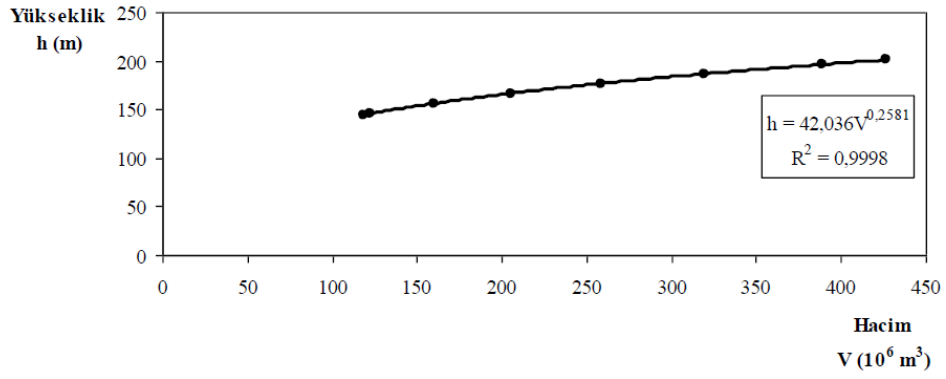
şekil 4.8. Menzelet barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



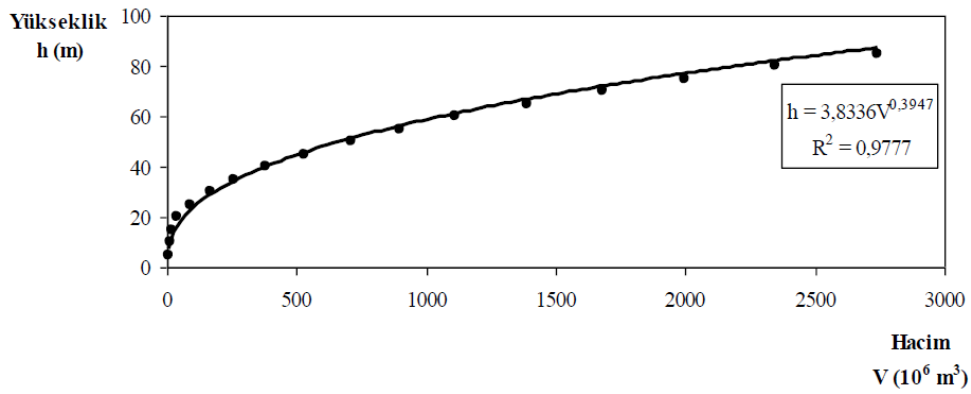
şekil 4.9. Kılavuzlu barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



şekil 4.10. Sır barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 4.11. Berke barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 4.12. Aslantaş barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri

Barajlardaki su hacimleri, uzun zamanlı işletmede, 10⁷ m³ değerinde baz alındığı için, barajların regresyon değerleri ve yükseklik-hacim denklemleri 4.4 No'lu Tablo'da gösterilmektedir.

Tablo 4.4. Hacim – Yükseklik parametreleri ($h=a.V^n$, h (m), V (10⁷ m³))

Barajlar	a	n	R ²
Menzelet	30.898	0.2998	0.9995
Kılavuzlu	24.182	0.4092	0.9981
Sır	45.328	0.2067	0.9996
Berke	76.157	0.2581	0.9998
Aslantaş	9.5129	0.3947	0.9777

4.4. Yükseklik-Alan İlişkileri

Barajın su yüzeyinin alanı, su seviyesinin artmasıyla birlikte büyürken, azalmasıyla da küçülmektedir. Uzun süreli işletmede, gölet yüzeyinde meydana gelen buharlaşma miktarlarını belirlemek için farklı yüksekliklere ait göl alanlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, uzun süreli işletme için elde edilen hacim-yükseklik denkleminin yüksekliğe göre türeviden yararlanarak alan-yükseklik denklemi sonucu çıkarılmaktadır. Buradaki denklemler, $A=b.h^m$ şeklinde sonuçlanmakta olup, m ve b katsayılarının değerleri her bir baraj için Tablo 4.5’ de bizlere gösterilmektedir.

Tablo 4.5. Uzun süreli işletmede, çok barajlı su kaynakları sisteminde alan yükseklik ilişkisi parametreleri

Yükseklik parametresi	Hacim parametresi	Barajlar
1,5336	0.084164	Aslantaş
2,3355	0.00036	Menzelet
2,8745	0.000001984	Berke
3,8379	0.0000004689	Sır
1,4438	0.01016	Kılavuzlu

4.5. Barajlara Gelen Akımlar

Bu bölümle ilgili konu hakkında bilgi vermeden önce barajlar hakkında genel bilgilere göz atmakta fayda vardır. Kılavuzlu Barajı, Kahramanmaraş'ta, Ceyhan Nehri üzerinde, sulama ve enerji üretmek amacıyla 2001 yılında devreye alınmış, gövdesi toprak dolgu tipi olan barajın hacmi yaklaşık 3.500.000 m³, zeminden yüksekliği 59 m., göl hacmi 69 hm³, göl alanı 3,10 km²'dir. Baraj mevcut su hacmiyle 178.000 hektarlık bir alanın sulanmasını sağlamaktadır.

Aslantaş Barajı, Ceyhan Nehri üzerinde inşa edilmiş olup, sulama ve taşkın önleme amacıyla 1984 yılında inşaatı tamamlanan elektrik üreten bir barajdır. Toprak gövde dolgu tipi olan barajın gövde hacmi 8.493.000 m³, yüksekliği 95,00 m, göl hacmi 1150,00 hm³ ve yüzey alanı 49,00 km²'dir. Baraj, 149.849 hektarlık bir alana sulama hizmeti vermektedir. Aynı zamanda 138 MW güç kapasiteli HES elektrik enerjisi üretmektedir.

Kahramanmaraş'ta, Ceyhan Nehri üzerinde enerji üretmek amacıyla 1991 yılında devreye alınmış diğer bir barajda Sır barajıdır. Göl hacmi 1.120,00 hm³, yüksekliği 116,00 m, barajın hacmi 494.000 m³, göl alanı 47,50 km²'dir.

Kahramanmaraş'ta, Ceyhan Nehri üzerinde, enerji üretimi amacıyla 1989 yılında devreye girmiş diğer bir baraj Menzelet Barajı, barajıdır. Gövde hacmi 8.700.000 m³ olan bu barajın gövdesi kaya gövde dolgu tipi olup, göl hacmi 1.950,00 hm³, yüksekliği 136,50m, göl alanı 42,00 km²' dir. Ortalama 124 MW güç değerinde elektrik enerjisi üretmektedir.

1973 yılından 2000 yılına kadar olan akım gözlem değerleri, Kılavuzlu, Menzelet, Sır, Aslantaş ve Berke barajlarının akslarına aktarılacak m³/s biriminde düzenlenmiştir. Bu akım gözlem değerleri, sırasıyla Tablo 4.7, 6, 8, 10 ve 9'da barajlara ait akım verilerini içermektedir.

1973-2000 yılları arasındaki akım gözlem değerlerinden yararlanılarak, aylık ortalama akımlar ortaya çıkmıştır. Aylık ortalama akım değerleri, Tablo 4.11' de ve Şekil 4.13' da her bir baraja göre gösterilmektedir. Menzelet kılavuzlu sır berke aslantaş

Tablo 4.6. Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (m³/s)

Barajlar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
Menzelet	20,67	31,65	50,86	62,00	68,23	126,24	202,18	143,54	53,99	13,61	6,93	11,36	791,26
Kılavuzlu	31,12	42,50	61,25	72,40	80,08	136,63	213,03	153,77	60,67	23,92	15,95	21,87	913,19
Sır	49,58	67,06	96,15	113,28	125,14	211,73	329,02	238,32	97,20	42,26	29,70	36,34	1435,80
Berke	50,69	68,54	98,23	115,72	127,83	216,25	335,99	243,40	99,40	43,36	30,52	37,21	1467,15
Aslantaş	56,95	77,21	110,88	130,55	144,17	243,67	377,80	273,00	108,51	45,31	31,65	40,56	1640,26

Tablo 4.7. 1973-1974 yılları arasındaki kritik dönemde (kurak dönemde) barajların aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m³/s)

Barajlar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
Menzelet	22,48	26,70	19,30	13,40	29,48	70,69	106,90	58,50	18,99	0,00	0,00	0,23	435,68
Kılavuzlu	32,93	37,60	29,70	23,88	41,34	81,08	117,84	68,78	25,66	10,31	9,02	10,74	488,88
Sır	52,37	59,52	47,4	38,45	65,28	126,32	182,8	107,76	43,43	21,35	19,05	19,24	782,96
Berke	53,54	60,84	48,47	39,33	66,72	129,04	186,7	110,1	44,5	22,01	19,65	19,75	800,66
Aslantaş	60,16	68,55	54,93	44,66	75,47	145,58	209,86	123,04	46,74	22,01	19,65	20,91	891,56

Toplam akımların, 1973 ile 2000 yılları arasında değerlendirildiği ve kuraklık bakımından kritik bir sürecin tahlil sonucudur. Bu sonuca göre, kritik dönem (1973-1974) seçilmiştir. Seçilen bu dönemde her bir barajla ilgili aylık akım gözlem değerleri Şekil 4.14'de ve Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Akım değerleri aylık olarak(Ym³/s) (Menzelet Barajı) (Akbulut, 2003)

Sıra	Yıllar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1	1973	22,48	26,70	19,30	13,40	29,48	70,69	106,90	58,50	18,99	0,00	0,00	0,23	435,68
2	1974	7,96	12,94	27,38	18,00	27,42	135,28	115,48	58,18	20,03	2,45	1,88	8,68	930,88
3	1975	12,25	12,97	42,31	53,89	51,81	149,47	311,86	189,60	61,27	21,23	11,96	12,26	957,28
4	1976	17,52	18,45	19,31	46,00	43,51	113,62	311,86	227,31	97,53	31,31	15,28	15,58	1219,56
5	1977	38,87	47,20	116,98	56,13	128,28	213,31	260,54	205,65	85,57	31,69	16,59	18,75	923,86
6	1978	25,81	23,97	31,86	81,89	131,58	147,23	205,37	152,26	69,70	24,59	14,09	15,51	872,85
7	1979	26,55	29,83	69,94	175,60	138,20	120,34	122,04	89,91	55,48	20,86	11,14	12,96	1739,62
8	1980	21,81	49,90	76,66	67,70	76,24	257,74	497,43	436,01	160,81	45,13	25,74	24,45	1212,14
9	1981	32,53	30,99	46,05	72,93	121,66	312,62	242,41	180,26	102,16	35,05	16,81	18,67	911,70
10	1982	25,06	30,61	119,22	125,20	66,69	98,32	196,11	147,04	53,55	20,11	13,94	15,85	665,47
11	1983	23,19	21,42	19,99	24,39	31,97	112,50	201,90	139,57	52,40	16,23	9,61	12,30	780,17
12	1984	20,02	59,93	71,81	56,50	79,83	121,46	167,95	128,74	44,68	12,35	7,18	9,72	406,73
13	1985	14,87	17,49	17,37	33,73	58,83	69,19	127,44	52,95	14,86	0,00	0,00	0,00	439,52
14	1986	18,82	21,27	27,38	81,52	58,01	75,54	73,04	50,34	32,33	0,00	0,00	1,27	1066,29
15	1987	10,98	26,75	37,83	104,29	125,80	137,52	277,52	203,41	91,75	24,97	11,55	13,92	1174,50
16	1988	19,53	39,09	86,37	65,09	83,82	201,74	314,94	214,99	87,12	32,06	13,94	15,81	427,49
17	1989	37,38	51,44	68,45	42,69	36,51	81,89	60,70	28,68	7,99	0,00	0,00	11,76	439,52
18	1990	18,82	21,27	27,38	81,52	58,01	75,54	73,04	50,34	32,33	0,00	0,00	1,27	492,65
19	1991	11,04	21,58	29,02	16,72	36,36	100,40	145,28	83,91	42,75	5,59	0,00	0,00	684,13
20	1992	3,17	18,51	36,19	32,60	35,68	96,87	198,50	158,83	61,58	15,31	9,91	16,98	971,43
21	1993	33,11	54,72	82,77	41,06	39,19	104,82	239,58	243,56	71,24	15,85	2,46	43,07	391,01
22	1994	18,25	21,28	22,32	45,95	54,88	73,26	96,50	52,92	1,23	0,00	0,00	4,42	723,77
23	1995	10,03	34,75	39,03	85,08	63,84	92,44	202,38	136,91	48,79	4,57	0,00	5,95	1210,43
24	1996	21,48	77,61	42,75	98,72	84,20	221,56	314,18	248,27	68,12	18,64	2,73	12,17	687,18
25	1997	45,47	30,35	71,00	77,08	50,01	46,31	186,70	133,68	37,25	0,07	0,00	9,26	682,17
26	1998	21,17	39,66	49,39	33,05	42,00	92,53	214,30	137,01	42,59	0,57	0,00	9,90	679,45
27	1999	9,29	33,10	112,42	61,64	109,23	104,98	144,54	76,12	23,94	0,00	0,00	4,19	662,99
28	2000	11,22	12,48	13,64	43,68	47,27	107,53	252,41	134,17	25,69	2,48	9,32	3,10	435,68

Tablo 4.9. Akım değerleri aylık olarak(m³/s) (Kılavuzlu Barajı) (Akbulut, 2003)

Sıra	Yıllar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1	1973	32,93	37,60	29,70	23,88	41,34	81,08	117,84	68,78	25,66	10,31	9,02	10,74	488,88
2	1974	18,41	23,78	37,77	28,40	39,28	145,67	126,33	68,40	26,70	12,77	10,90	19,19	557,60
3	1975	22,70	23,82	52,70	64,28	63,66	159,86	322,70	199,83	67,95	31,55	20,98	22,77	1052,80
4	1976	27,97	29,30	29,70	56,44	55,37	124,01	322,70	237,53	104,21	41,63	24,31	26,09	1079,26
5	1977	49,32	58,04	127,38	66,52	140,14	223,70	271,39	215,88	92,25	42,00	25,61	29,26	1341,49
6	1978	36,26	34,82	42,25	92,28	143,44	157,62	216,22	162,49	76,43	34,91	23,11	26,01	1045,84
7	1979	37,00	40,68	80,33	185,99	150,06	130,74	132,89	100,14	62,16	31,17	20,16	23,47	994,79
8	1980	32,26	60,74	87,05	78,09	88,10	268,13	508,27	446,24	167,48	55,44	34,76	35,00	1861,56
9	1981	42,98	41,84	56,44	83,32	133,52	323,01	253,26	190,49	108,84	45,36	25,84	29,18	1334,08
10	1982	35,51	41,45	129,62	135,59	78,55	108,71	206,96	157,26	60,23	30,43	22,96	26,36	1033,63
11	1983	33,64	32,27	30,38	34,78	43,82	122,89	212,75	149,80	59,07	26,54	18,63	22,81	787,38
12	1984	30,47	70,77	82,20	66,89	91,69	131,86	178,80	138,97	51,36	22,66	16,20	20,23	902,10
13	1985	25,32	28,34	27,76	44,12	70,69	79,59	138,29	63,18	21,53	10,31	9,02	10,51	528,66
14	1986	29,27	32,12	37,77	91,91	69,86	85,93	83,89	60,56	39,01	10,31	9,02	11,78	561,43
15	1987	21,43	37,60	48,22	114,68	137,66	147,91	288,37	213,64	98,43	35,28	20,57	24,43	1188,22
16	1988	29,98	49,94	96,76	75,48	95,68	212,13	325,79	225,21	93,80	42,37	22,96	26,32	1296,42
17	1989	47,83	62,29	78,84	53,08	48,37	92,28	71,55	38,91	14,67	10,31	9,02	22,27	549,42
18	1990	29,27	32,12	37,77	91,91	69,86	85,93	83,89	60,56	39,01	10,31	9,02	11,78	561,43
19	1991	21,49	32,43	39,42	27,11	48,22	110,79	156,13	94,14	49,42	15,91	9,02	10,51	614,59
20	1992	13,62	29,35	46,58	42,99	47,54	107,26	209,35	169,05	68,26	25,62	18,94	27,49	806,05
21	1993	43,56	65,57	93,16	51,45	51,04	115,21	250,43	253,79	77,92	26,16	11,48	53,58	1093,35
22	1994	28,70	32,12	32,71	56,34	66,74	83,65	107,35	63,15	7,91	10,31	9,02	14,93	512,93
23	1995	20,48	45,59	49,43	95,48	75,70	102,83	213,22	147,13	55,47	14,88	9,02	16,46	845,69
24	1996	31,93	88,46	53,14	109,11	96,06	231,95	325,03	258,49	74,79	28,95	11,75	22,68	1332,34
25	1997	55,92	41,20	81,39	87,47	61,87	56,70	197,55	143,91	43,93	10,38	9,02	19,76	809,10
26	1998	31,62	50,50	59,78	43,44	53,86	102,92	225,15	147,24	49,27	10,89	9,02	20,40	804,09
27	1999	19,73	43,95	122,81	72,03	121,08	115,37	155,39	86,35	30,62	10,31	9,02	14,69	801,35
28	2000	21,67	23,32	24,03	54,07	59,12	117,93	263,25	144,39	32,36	12,79	18,34	13,61	784,88

Tablo 4.10. Akım değerleri aylık olarak(m³/s) (Sır Barajı) (Akbulut, 2003)

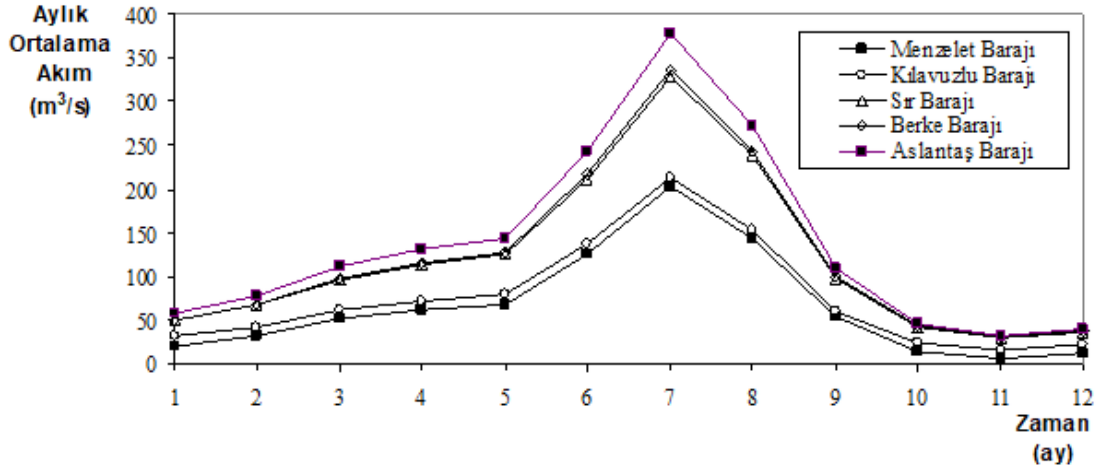
Sıra	Yıllar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1	1973	52,37	59,52	47,4	38,45	65,28	126,32	182,8	107,76	43,43	21,35	19,05	19,24	782,96
2	1974	30,06	38,3	59,79	45,39	62,1	225,54	195,83	107,18	45,03	25,12	21,93	32,22	888,51
3	1975	36,66	38,36	82,73	100,51	105,55	247,34	497,5	309,07	108,38	53,97	37,42	37,73	1655,22
4	1976	44,74	46,78	47,4	88,47	86,83	192,28	497,5	367	164,09	69,45	42,52	42,83	1689,89
5	1977	77,55	90,93	197,44	112,22	217,04	345,41	418,68	333,73	145,72	70,03	44,53	47,69	2100,97
6	1978	57,48	55,26	66,67	143,53	222,12	243,9	333,92	251,72	121,42	59,13	40,69	42,71	1638,54
7	1979	58,62	64,26	125,17	287,49	232,28	202,6	205,91	155,93	99,49	53,39	36,16	38,8	1560,12
8	1980	51,34	95,08	135,5	121,73	137,1	413,67	782,57	687,61	261,29	90,67	58,58	56,52	2891,66
9	1981	67,8	66,04	88,47	129,76	206,88	497,98	390,82	294,73	171,21	75,19	44,87	47,57	2081,32
10	1982	56,33	65,45	200,88	210,06	122,43	168,76	319,7	243,69	96,53	52,25	40,46	43,24	1619,77
11	1983	53,46	51,34	48,43	55,2	69,09	190,56	328,59	232,22	94,75	46,28	33,8	37,79	1241,52
12	1984	48,59	110,49	128,04	104,53	142,62	204,32	276,44	215,58	82,9	40,32	30,08	33,82	1417,71
13	1985	40,67	45,3	44,42	69,54	110,36	124,03	214,21	99,15	37,09	21,35	19,05	18,89	844,05
14	1986	46,75	51,11	59,79	142,95	109,09	133,78	130,64	95,14	63,93	21,35	19,05	20,84	894,42
15	1987	34,71	59,52	75,85	177,94	213,23	231,07	444,75	330,29	155,2	59,7	36,79	40,28	1859,33
16	1988	47,84	78,49	150,41	117,72	148,75	327,63	502,24	348,07	148,09	70,6	40,46	43,18	2023,48
17	1989	75,26	97,45	122,88	83,31	76,07	143,53	111,68	61,87	26,54	21,35	19,05	36,96	875,94
18	1990	46,75	51,11	67,64	142,95	112,8	133,78	130,64	95,14	63,93	21,35	19,05	20,84	905,98
19	1991	34,79	51,59	62,32	43,42	75,85	171,97	241,61	146,72	79,93	29,94	19,05	18,89	976,06
20	1992	22,7	46,86	73,32	67,81	74,8	166,54	323,37	261,8	108,86	44,86	34,27	44,98	1270,18
21	1993	68,69	102,49	144,88	80,8	80,18	178,76	386,47	391,96	123,7	45,7	22,82	85,05	1711,51
22	1994	45,87	51,12	52,02	88,31	104,29	130,28	166,68	99,11	16,15	21,35	19,05	25,67	819,9
23	1995	33,24	71,81	77,7	148,44	118,06	159,74	329,32	228,13	89,22	28,36	19,05	28,03	1331,09
24	1996	50,83	137,66	83,4	169,38	149,34	358,08	501,07	399,2	118,9	49,98	23,24	37,59	2078,66
25	1997	87,68	65,06	126,8	136,15	96,81	88,87	305,24	223,17	71,49	21,45	19,05	33,11	1274,88
26	1998	50,35	79,35	93,61	68,5	84,51	159,87	347,63	228,29	79,69	22,23	19,05	34,09	1267,16
27	1999	32,1	69,28	190,43	112,42	187,78	179	240,48	134,75	51,04	21,35	19,05	25,32	1262,99
28	2000	35,06	37,6	38,68	84,83	92,59	182,92	406,18	223,92	53,72	25,15	33,36	23,65	1237,67

Tablo 4.11. Akım değerleri aylık olarak(m³/s) (Berke Barajı) (Akbulut, 2003)

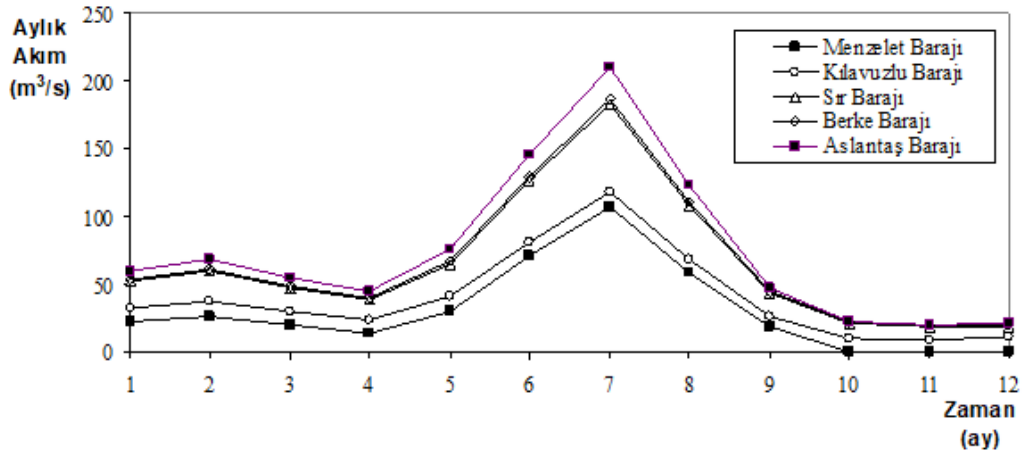
Sıra	Yıllar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1	1973	53,54	60,84	48,47	39,33	66,72	129,04	186,7	110,1	44,5	22,01	19,65	19,75	800,66
2	1974	30,76	39,18	61,11	46,42	63,48	230,35	200,02	109,52	46,13	25,86	22,6	33	908,42
3	1975	37,5	39,24	84,54	102,69	107,71	252,6	508,02	315,64	110,82	55,32	38,41	38,63	1691,1
4	1976	45,75	47,83	48,47	90,39	88,72	196,39	508,02	374,79	167,7	71,13	43,62	43,83	1726,63
5	1977	79,25	92,91	201,66	114,47	221,67	352,74	427,54	340,82	148,94	71,71	45,67	48,8	2146,17
6	1978	58,75	56,48	68,14	146,61	226,86	249,09	341,01	257,08	124,13	60,59	41,74	43,71	1674,2
7	1979	59,92	65,68	127,87	293,59	237,23	206,93	210,3	159,29	101,74	54,73	37,12	39,72	1594,13
8	1980	52,49	97,15	138,41	124,36	140,05	422,42	799,07	702,13	266,93	92,79	60,02	57,81	2953,63
9	1981	69,29	67,5	90,39	132,56	211,3	508,5	399,1	301	174,96	76,98	46,02	48,67	2126,28
10	1982	57,58	66,89	205,17	214,54	125,07	172,38	326,48	248,89	98,71	53,56	41,51	44,26	1655,04
11	1983	54,65	52,49	49,52	56,43	70,61	194,63	335,56	237,17	96,9	47,47	34,72	38,69	1268,84
12	1984	49,68	112,88	130,8	106,79	145,68	208,68	282,31	220,19	84,8	41,38	30,91	34,64	1448,74
13	1985	41,59	46,32	45,42	71,07	112,75	126,7	218,77	101,32	38,02	22,01	19,65	19,39	863,03
14	1986	47,8	52,25	61,11	146,03	111,45	136,66	133,45	97,22	65,43	22,01	19,65	21,38	914,45
15	1987	35,5	60,84	77,51	181,75	217,78	235,94	454,16	337,31	158,62	61,17	37,76	41,23	1899,58
16	1988	48,91	80,2	153,64	120,26	151,94	334,58	512,86	355,46	151,36	72,3	41,51	44,2	2067,23
17	1989	76,91	99,57	125,53	85,12	77,74	146,61	114,09	63,25	27,25	22,01	19,65	37,84	895,58
18	1990	47,8	52,25	68,97	146,03	115,16	136,66	133,45	97,22	65,43	22,01	19,65	21,38	926,01
19	1991	35,59	52,74	63,7	44,4	77,51	175,65	246,75	149,88	81,77	30,79	19,65	19,39	997,81
20	1992	23,24	47,92	74,93	69,3	76,44	170,11	330,23	267,38	111,3	46,02	35,2	46,03	1298,1
21	1993	70,21	104,71	147,99	82,57	81,94	182,58	394,66	400,28	126,45	46,87	23,5	86,95	1748,7
22	1994	46,91	52,26	53,18	90,24	106,55	133,08	170,24	101,27	16,65	22,01	19,65	26,32	838,37
23	1995	34,01	73,39	79,4	151,62	120,61	163,17	336,3	233	91,25	29,18	19,65	28,73	1360,3
24	1996	51,97	140,62	85,22	173	152,54	365,67	511,66	407,66	121,56	51,25	23,93	38,48	2123,56
25	1997	89,59	66,5	129,53	139,07	98,91	90,81	311,72	227,94	73,15	22,12	19,65	33,91	1302,9
26	1998	51,47	81,09	95,64	70	86,35	163,3	355	233,16	81,52	22,92	19,65	34,91	1295,03
27	1999	32,84	70,81	194,5	114,85	191,79	182,82	245,6	137,66	52,27	22,01	19,65	25,96	1290,76
28	2000	35,87	38,46	39,56	86,68	94,61	186,83	414,78	228,7	55,01	25,9	34,27	24,26	1264,91

Tablo 4.12. Akım değerleri aylık olarak(m^3/s) (Aslantaş Barajı) (Akbulut, 2003)

Sıra	Yıllar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1	1973	60,16	68,55	54,93	44,66	75,47	145,58	209,86	123,04	46,74	22,01	19,65	20,91	891,56
2	1974	34,53	44,19	69,16	52,63	71,82	259,54	224,83	122,38	48,58	25,86	22,6	35,82	1011,94
3	1975	42,11	44,25	95,51	115,93	120,83	284,58	571,32	354,26	121,35	58,34	40,38	42,15	1891,01
4	1976	51,39	53,92	54,93	102,1	100,22	221,33	571,32	420,79	185,33	76,13	46,24	48,01	1931,72
5	1977	89,08	104,63	227,26	128,15	249,78	397,22	480,78	382,59	164,23	76,79	48,54	53,59	2402,65
6	1978	66,02	63,65	77,07	165,34	255,61	280,62	383,44	288,39	136,32	64,27	44,13	47,87	1872,74
7	1979	67,34	74	144,26	330,69	267,28	233,19	236,41	178,37	111,14	57,68	38,93	43,38	1782,66
8	1980	58,97	109,4	156,12	140,31	157,96	475,61	898,74	789,04	296,97	100,5	64,68	63,73	3312,03
9	1981	77,88	76,04	102,1	149,53	238,11	572,45	448,79	337,79	193,5	82,71	48,94	53,45	2381,3
10	1982	64,7	75,36	231,22	241,76	141,11	194,33	367,1	279,16	107,73	56,36	43,87	48,48	1851,18
11	1983	61,41	59,16	56,12	63,89	79,84	219,36	377,31	265,99	105,69	49,51	36,22	42,22	1416,73
12	1984	55,81	127,1	147,55	120,55	164,3	235,17	317,41	246,88	92,08	42,66	31,94	37,66	1619,11
13	1985	46,72	52,22	51,51	80,36	127,25	142,94	245,94	113,16	39,46	22,01	19,65	20,51	961,73
14	1986	53,7	58,89	69,16	164,68	125,79	154,14	149,96	108,55	70,29	22,01	19,65	22,75	1019,58
15	1987	39,87	68,55	87,61	204,87	245,4	265,58	510,73	378,63	175,12	64,93	39,65	45,08	2126,02
16	1988	54,95	90,34	173,25	135,7	171,34	376,8	576,76	399,06	166,95	77,44	43,87	48,42	2314,87
17	1989	86,44	112,12	141,63	96,17	87,87	165,34	128,17	70,34	27,34	22,01	19,65	41,27	998,35
18	1990	53,7	58,89	77,01	164,68	129,5	154,14	149,96	108,55	70,29	22,01	19,65	22,75	1031,13
19	1991	39,97	59,44	72,07	50,36	87,6	198,01	277,41	167,79	88,67	30,79	19,65	20,51	1112,25
20	1992	26,07	54,01	84,7	78,37	86,41	191,78	371,32	299,97	121,89	47,89	36,77	50,48	1449,65
21	1993	78,9	117,91	166,89	93,3	92,59	205,81	443,79	449,47	138,94	48,84	23,61	96,51	1956,55
22	1994	52,69	58,9	60,24	101,92	120,28	150,12	191,34	113,1	15,41	22,01	19,65	28,31	933,99
23	1995	38,19	82,67	89,73	170,98	136,09	183,96	378,15	261,29	99,33	29,18	19,65	31,02	1520,23
24	1996	58,38	158,3	96,28	195,03	172,01	411,77	575,41	457,78	133,43	53,76	24,09	41,99	2378,24
25	1997	100,71	74,92	146,13	156,86	111,68	102,57	350,49	255,6	78,97	22,12	19,65	36,84	1456,55
26	1998	57,83	91,33	108	79,16	97,55	184,12	399,19	261,48	88,39	22,92	19,65	37,97	1447,59
27	1999	36,87	79,77	219,21	129,61	216,16	206,08	276,11	154,05	55,48	22,01	19,65	27,9	1442,9
28	2000	40,28	43,38	44,91	97,92	106,84	210,59	466,43	256,46	58,56	25,9	35,72	25,99	1412,96



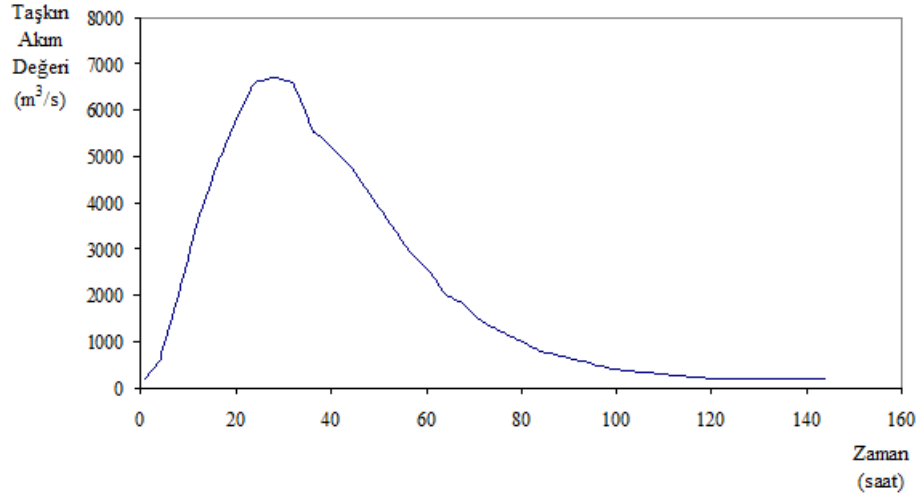
Şekil 4.13. Ortalama akımlar (Aylık)



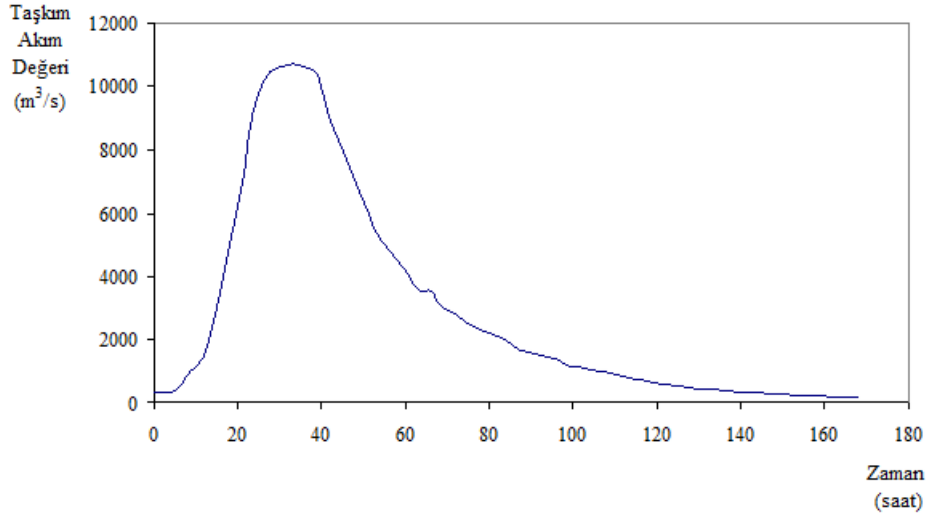
Şekil 4.14. Aylık akımlar (Kritik Dönemde)

4.6. Taşkın Hidrografları

Barajların sağladığı faydalar arasında enerji üretiminin yanı sıra taşkından korunma amacı da bulunmaktadır. Ceyhan Havzası'nda, Ceyhan Nehri üzerinde bulunan çoklu barajlı su kaynakları sistemi içinde Aslantaş ve Menzelet Barajları hem enerji üretimi hem de taşkından korunma amacıyla planlanmıştır.



Şekil 4.15. Menzelet Barajına havzasından gelebilecek 100 yıllık PMF taşkın hidrografı



Şekil 4.16. Menzelet Barajına havzasından gelebilecek 10.000 yıllık taşkın hidrografı

Kısa dönemli planlamada, Aslantaş ve Menzelet Barajlarına yönelen çeşitli tekrarlama aralıklarına sahip taşkın hidrografı önem kazanmaktadır. Her iki barajın farklı tekrarlama aralığına sahip taşkın hidrografı karşılaştırıldığında, özellikle dikkat çeken Menzelet Barajı'na ait olan taşkın hidrografıdır. Burada, 100 yıl tekerrür aralıklı PMF taşkın hidrografı Şekil 4.15' de, 10.000 yıl tekrar aralıklı taşkın hidrografı Şekil 4.16'de (Menzelet B.) yazılmıştır.

Kısa vadeli işletme modelinde, Şekil 4.16, (Menzelet B. için) havzasından gelen taşkın hidrografı akım değerleri olarak alınırken, diğer barajlar için havzadan ulaşan akım değerleri için ortalama akım olarak öngörülen 1.106 m³/saat değeri kullanılır. Bu değer,

barajlardan enerji üretimi için ayrılacak su miktarıyla eşdeğer olarak belirlenmiştir. Bu hidrograf verileri dikkate alınarak, kısa vadeli işletme modeli için optimal taşkın kontrol işletme seviyeleri tespit edilir. Elde edilen bu seviyeler, gerçek zamanlı işletme modelinde taşkın durumunda başlangıç seviyesini elde etmek için uzun vadeli işletmeye ait aylık optimal normal işletme seviyeleriyle birleştirilerek veri olarak kullanılır.



5. CEYHAN HAVZASI İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

5.1. Güvenilir Gücün Enbüyüklenmesi

5.1.1. Güvenilir Gücün Enbüyüklenmesinde Modele Giren Veriler

Güvenilir gücün enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletmede, modele giren veriler:

Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı

Tablo 5.1’ de, barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar

Tablo 5.2’ de, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri

Tablo 5.3’ de, barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum su miktarları

Tablo 5.4’ de, barajlardaki aylık buharlaşma değerleri

şeklinde verilmektedir.

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

Tablo 5.1. Barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar

Barajlar	Aylar											
	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H
Menzelet (10^7 m^3)	0	0	0	2	3	7	5	7	35	30	15	5
Kılavuzlu (10^7 m^3)	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Sır (10^7 m^3)	3	3	2	3	4	6	4	6	21	18	10	5
Berke (10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Aslantaş (10^7 m^3)	0	0	0	1	1	2	2	2	8	6	3	1

Tablo 5.2. Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri

Barajlar	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş
S_i^{Maks} (10^7 m ³)	195	8	112	43	199
S_i^{Min} (10^7 m ³)	53	7	45	12	53

Tablo 5.3. Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları

Barajlar	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş
Q_i^{Maks} (10^7 m ³ /ay)	34	39	84	89	60

Tablo 5.4. Barajlardaki aylık buharlaşma değerleri (mm/ay)

O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
48	10.4	30.3	82.7	132.8	197	242.7	227.6	157.7	89	34.9	11.1

5.1.2. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Güvenilir gücün enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde;

Güvenilir güç, $P_g=163.970$ MW, ortalama güç, $P_{ort}=243.260$ MW, maksimum güç, $P_{Maks}=1084,600$ MW ve yineleme sayısı, ICOUNT=15

Tablo 5.5’de, barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

Tablo 5.6’da, barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Tablo 5.7’de, barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri

Tablo 5.8’de, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Şekil 5.1’de, Menzelet Barajı’nda aylık minimum işletme seviyesi

Şekil 5.2’de, Kılavuzlu Barajı’nda aylık minimum işletme seviyesi

Şekil 5.3’de, Sır Barajı’nda aylık minimum işletme seviyesi

Şekil 5.4’de, Berke Barajı’nda aylık minimum işletme seviyesi

Şekil 5.5’de, Aslantaş Barajı’nda aylık minimum işletme seviyesi

Şekil 5.6’da, kurak dönemde toplam aylık güç değerleri

şeklinde elde edilmiştir.

Kurak dönem aylık akımları ile gerçekleştirilen uzun süreli işletme sonucunda, aylık minimum işletme seviyeleri, güvenilir gücü en üst düzeye çıkarmak amacıyla belirlenmiştir. Elde edilen aylık minimum işletme seviyeleri, en yüksek faydalı hacme sahip olan barajlardaki işletme seviyelerindeki değişim güvenilir gücün en üst düzeyde olmasında etkilidir. Bu bağlamda, Menzelet Barajı’ndaki işletme seviyesinde meydana gelen değişiklikler, önerilen görüşü desteklemektedir. Optimal işletme seviyeleri ve barajlara havzasından gelen aylık kritik akımlar kullanılarak, barajlardan bırakılan akımların neredeyse tamamı enerji üretimi için ayrılmıştır.

Tablo 5.5. Barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

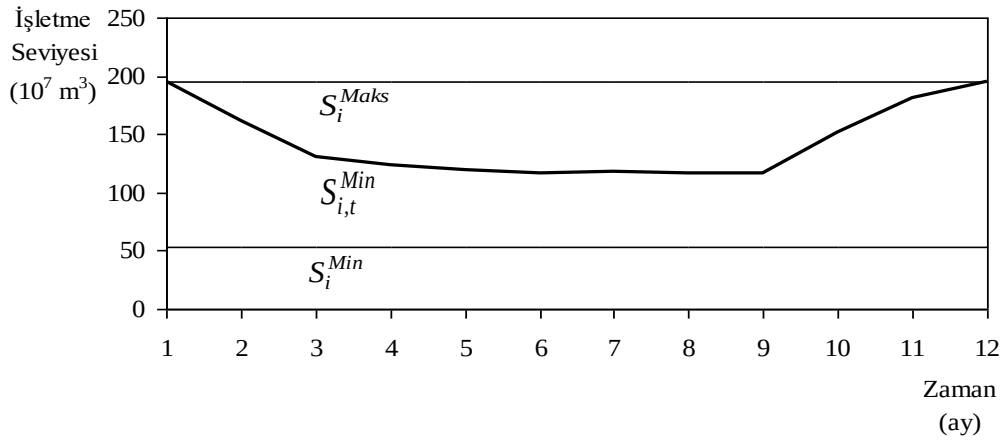
Barajlar	Aylar											
	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H
Menzelet (10^7 m^3)	34	30	7	6	6	5	6	5	0	0	1	5
Kılavuzlu (10^7 m^3)	38	31	10	9	9	8	10	8	3	3	3	7
Sır (10^7 m^3)	92	0	12	13	13	13	12	13	13	13	13	12
Berke (10^7 m^3)	89	2	12	12	12	13	12	13	14	14	14	12
Aslantaş (10^7 m^3)	60	10	11	12	12	12	13	12	19	18	16	13

Tablo 5.6. Barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

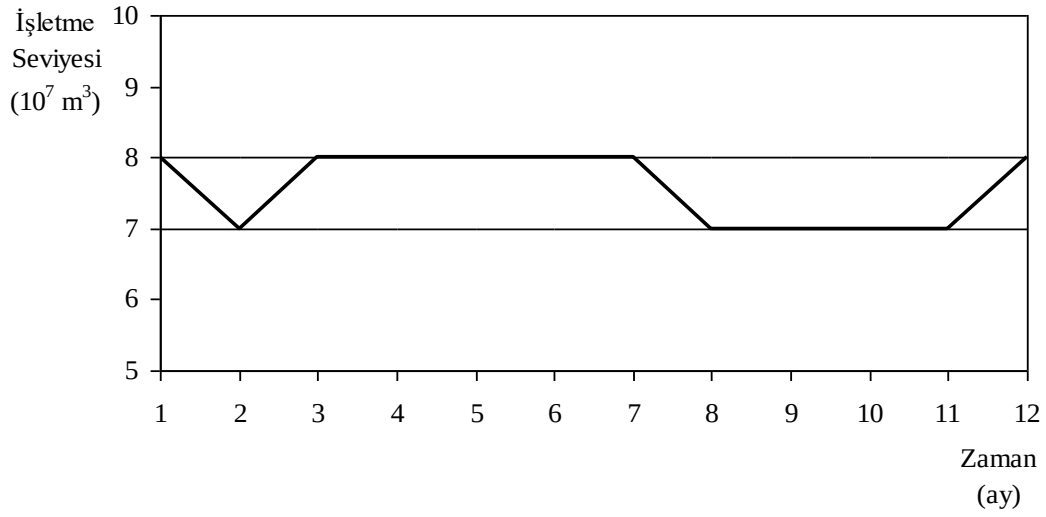
Barajlar	Aylar											
	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H
Menzelet (10^7 m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kılavuzlu (10^7 m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sır (10^7 m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Berke (10^7 m ³)	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aslantaş (10^7 m ³)	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.7. Barajlardaki kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri

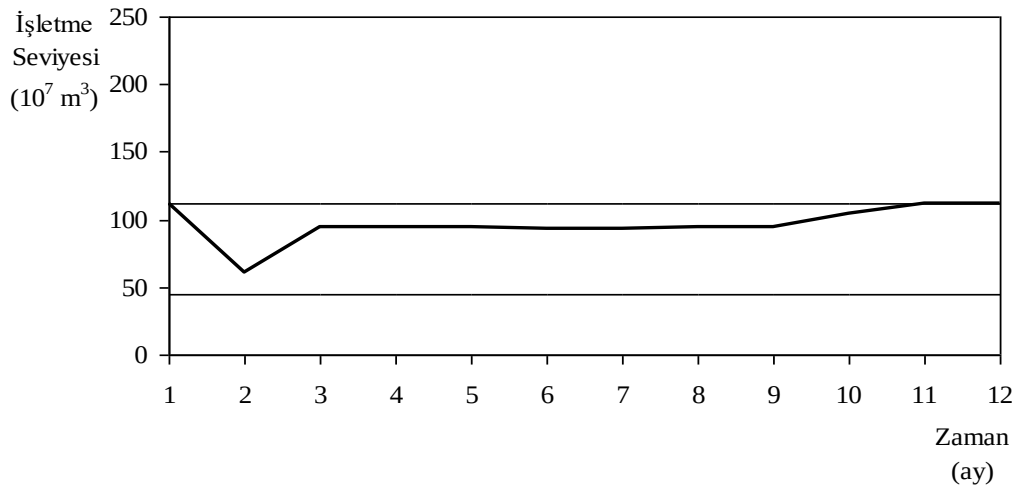
Barajlar	Aylar											
	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H
Menzelet (10^7 m ³)	195	161	131	124	120	117	118	116	117	151	181	195
Kılavuzlu (10^7 m ³)	8	7	8	8	8	8	8	7	7	7	7	8
Sır (10^7 m ³)	112	61	95	95	94	93	93	94	94	104	112	112
Berke (10^7 m ³)	43	43	41	41	42	43	43	43	43	43	43	43
Aslantaş (10^7 m ³)	199	199	191	192	192	192	194	193	195	197	198	199



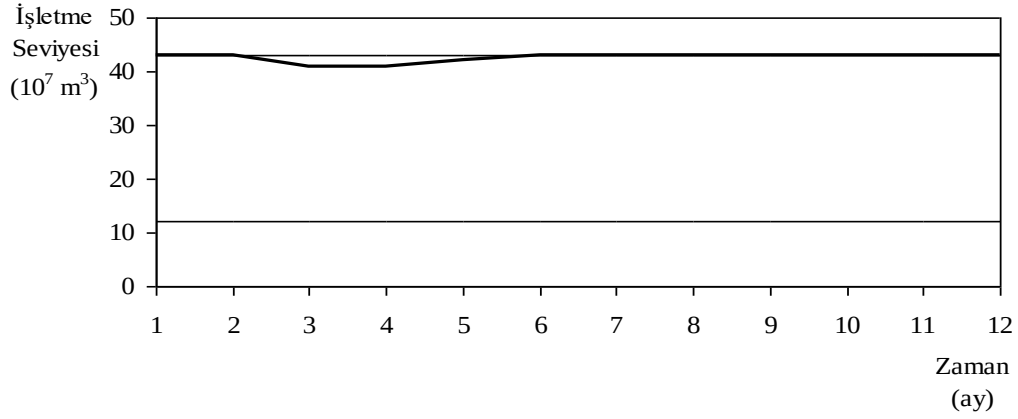
Şekil 5.1. Menzelet Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi



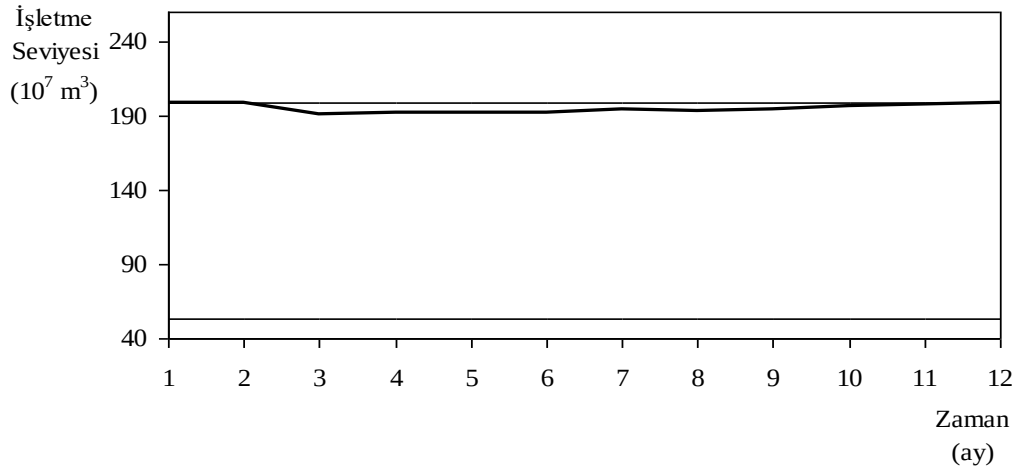
Şekil 5.2. Kılavuzlu Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi



Şekil 5.3. Sır Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi



Şekil 5.4. Berke Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi



Şekil 5.5. Aslantaş Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi

5.2. Model Verileri

5.2.1. Modele Giren Veriler

Kinematik dalga modeli uygulanırken, barajların birbirlerine olan mesafeleri Google Earth GPS programı yardımıyla belirlenmiştir. Bu değerler sayesinde, barajlar arasındaki akarsunun hidrolik eğimi hesaplanmıştır. Akarsu yatağının özellikleri için ise, ortalama bir sürtünme katsayısı (Manning katsayısı, n) ve dikdörtgen kesit için ortalama bir kesit büyüklüğü (b , h) seçilmiştir. Bu parametreler kullanılarak, akarsunun taşıdığı ortalama debi (Q) Manning denklemi ile sonuçlandırılmıştır. İlgili veriler, barajlar arasındaki akarsu kesiti ve yatağına ilişkin bilgiler, Tablo 5.16'da gösterilmektedir.

Tablo 5.8. Barajlar-arası akarsu yatağının ve kesitinin özellikleri

Barajlar	L	H	S	N	b	H	A	P	R	Q
Menzelet-Kılavuzlu	6820	123.9	0.0182	0.025	1.5	30	45	33	1.36	298
Kılavuzlu-Sır	35610	45.5	0.0013	0.025	2.5	48	120	53	2.26	295
Sır-Berke	4340	95	0.0219	0.025	1.4	30	42	32.8	1.28	293
Berke-Aslantaş	45610	186	0.0041	0.025	2	40	80	44	1.82	304

Burada,

L : Uzunluğu (m),

H : Kotu (m),

S : Hidrolik eğimi,

n : Ortalama Manning katsayısını,

b : Akarsu kesitinin ortalama su yüzeyi genişliğini (m),

h : Akarsu kesitinde ortalama su yüksekliğini (m),

A : Akarsu kesit alanını (m^2),

P : Akarsu kesitinde ıslak çevreyi (m),

R : Akarsu kesitine ait hidrolik yarıçapı (m),

Q : Akarsuyun ortalama debisini (m^3/s),

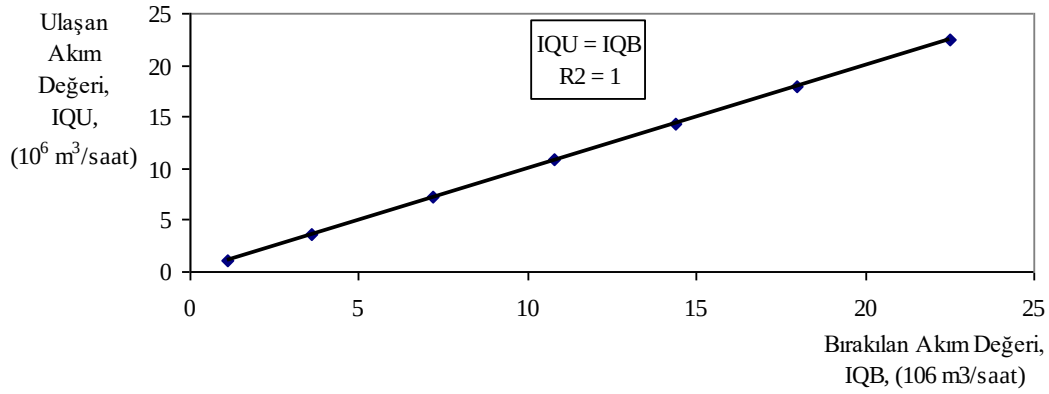
göstermektedir. Tablo 5.8’de elde edilen ortalama debilere bakıldığında, her bir baraj arası için ortalama debi yaklaşık $300 m^3/s$ olarak alınabilir.

5.2.2. Modelden Çıkan Veriler

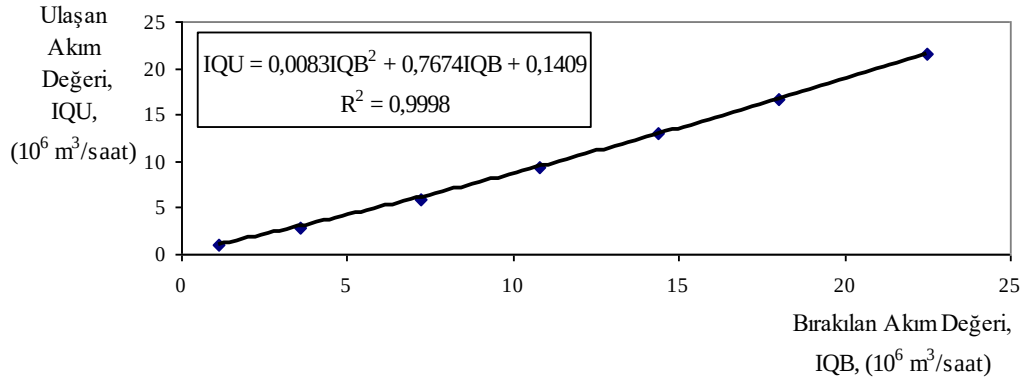
Kinematik dalga modeli ile çıkan sonuçlar;

Barajdan akarsu yatağındaki ortalama akım üzerine bırakılan akımın değeri, diğer baraja seyahati esnasında azalarak ulaşmaktadır. Bu ulaşma değeri, barajlar arası mesafeye, akarsu yatağındaki sürtünmeye ve kesit özelliklerine, akarsuyun debisine bağlı olarak değişebilmektedir.

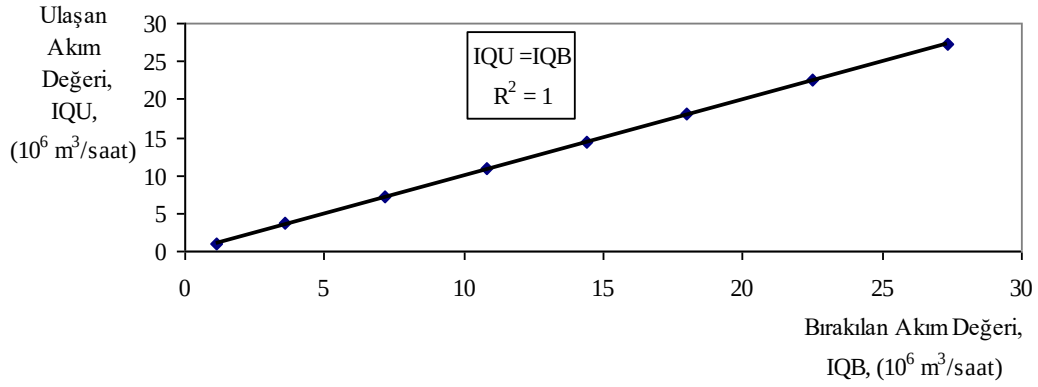
Barajlar arasında, kinematik dalga modeli kullanılarak barajdan bırakılan akımın diğer baraja ulaşma değerinin eğrileri, denklemleri ve regresyon değerleri elde edilmiştir. Şekil 5.13 ve Şekil 5.15’ de, barajdan bırakılan akım, diğer baraja değişmeden ulaşmıştır. Şekil 5.14 ve Şekil 5.16’da ise, barajdan bırakılan akım, diğer baraja azalarak ötelenmiştir. Buradan, barajlar arası mesafe ne kadar artarsa barajdan bırakılan akım değeri, diğer baraja o kadar azalarak seyahat etmektedir. Ayrıca barajlar arası mesafe çok küçük ise, barajdan bırakılan akım değeri, diğer baraja değişmeden ulaştığı sonucuna varılmıştır.



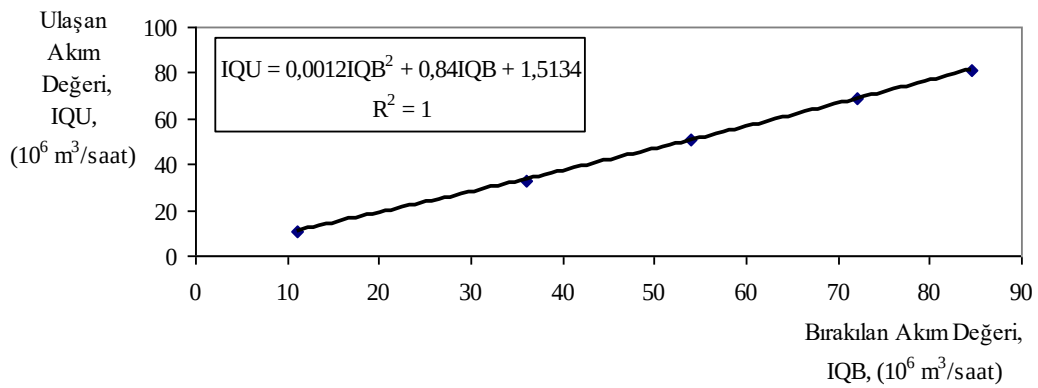
Şekil 5.6. Menzelet Barajı'ndan bırakılan akımın Kılavuzlu Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 5.7. Kılavuzlu Barajı'ndan bırakılan akımın Sır Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



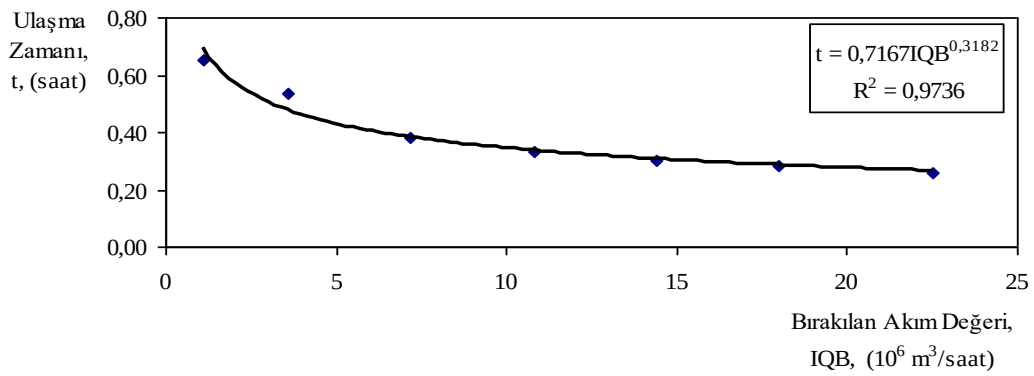
Şekil 5.8. Sır Barajı'ndan bırakılan akımın Berke Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



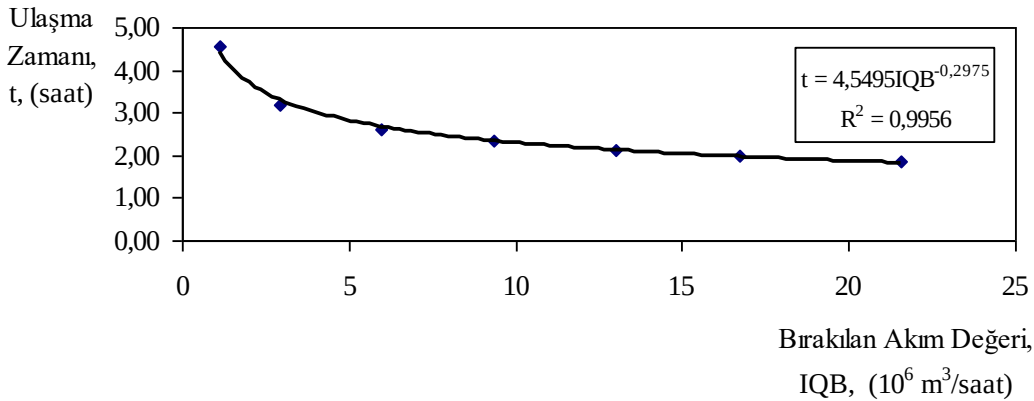
Şekil 5.9. Berke Barajı'ndan bırakılan akımın Aslantaş Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri

Barajdan akarsu yatağındaki ortalama akım üzerine bırakılan akımın diğer baraja ulaşma zamanı, barajlar arası mesafeye, akarsu yatağındaki sürtünmeye ve kesit özelliklerine, akarsuyun debisine bağlı olarak değişmektedir.

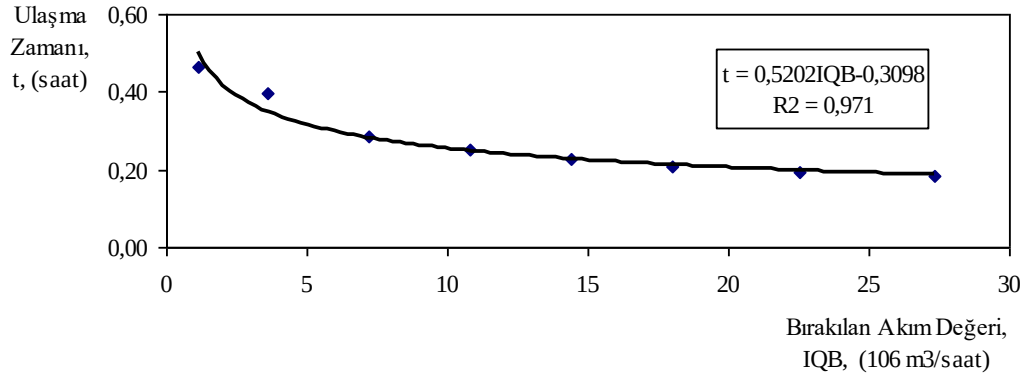
Barajlar arasında, kinematik dalga modeli kullanılarak barajdan bırakılan akımın diğer baraja ulaşma zamanının eğrileri, denklemleri ve regresyon değerleri elde edilmiştir. Şekil 5.17, 18, 19 ve 20’ de, barajdan bırakılan akım miktarı büyüdüğü zaman ulaşma zamanı küçüldüğü görülmüştür. Şekil 5.17 ve Şekil 5.19’ da, barajdan bırakılan akımın diğer baraja ulaşma zamanı ile Şekil 5.18 ve Şekil 5.20’ deki ulaşma zamanı değerleri birbirinden farklı oluşmuştur. Bu farkın nedeni barajlar arası mesafeden kaynaklanmaktadır. Barajlar arası mesafe artıkça ulaşma zamanı artmakta, azaldıkça azalmaktadır.



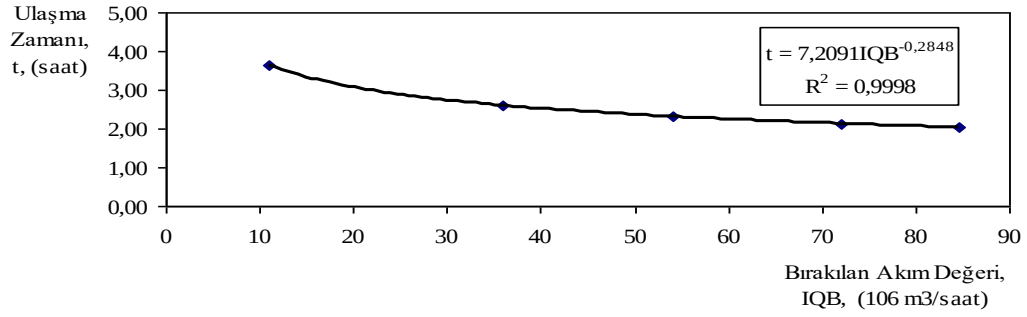
Şekil 5.10. Menzelet Barajı’ndan bırakılan akımın Kılavuzlu Barajı’na ulaşma zamanının eğrisi, denklemleri ve regresyon değeri



Şekil 5.11. Kılavuzlu Barajı’ndan bırakılan akımın Sır Barajı’na ulaşma zamanının eğrisi, denklemleri ve regresyon değeri



Şekil 5.12. Sır Barajı'ndan bırakılan akımın Berke Barajı'na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 5.13. Berke Barajı'ndan bırakılan akımın Aslantaş Barajı'na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri

5.3. Kısa Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

5.3.1. Modele Giren Veriler

Taşkın durumunda barajlardan bırakılan akımın enküçüklenmesi için yapılan kısa süreli planlama için işletme optimizasyonunda, modele girilen veriler:

Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı,

Şekil 5.21' de, Menzelet Barajı'na havzasından gelen 100 yıl tekerrür aralıklı PMF taşkın hidrografı (Tasarım amaçlı taşkın hidrografı, 150 saatlik akım verileri),

Tablo 5.18' de, barajlardan enerji üretimi ve dolu savaktan bırakılacak maksimum toplam akım miktarları,

Tablo 5.9. Barajlardan enerji üretimi ve dolu savaktan bırakılacak maksimum toplam akım miktarları

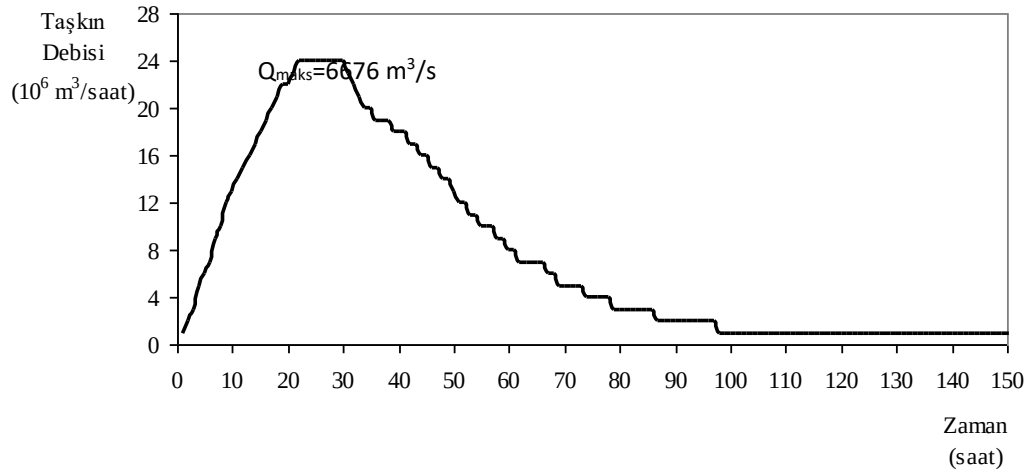
Barajlar	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş
$(Q + R)_i^{Maks}$ (10^6 m ³ /saat)	23	23	29	9	39

Tablo 5.9’ da, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri

Tablo 5.10. Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri

Barajlar	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş
S_i^{Maks} (10^6 m ³)	1950	80	1120	430	1990
S_i^{Min} (10^6 m ³)	530	70	450	120	530

şeklinde verilmektedir. Burada, diğer barajlarda havzalarından gelen akım değeri 1.10^6 m³/saat olarak alınmıştır. Bu değer, akarsu yatağındaki ortalama debiye eşit olacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 5.14. Menzelet Barajı'na havzasından gelen 100 yıl tekerrür aralıklı PMF taşkın hidrografı (Tasarım amaçlı taşkın hidrografı, 150 saatlik akım verileri)

5.3.2. Modelden Çıkan Veriler

Taşkının durumunda barajlardan bırakılan akımın enküçüklenmesi için yapılan kısa süreli işletme neticesinde:

Yineleme sayısı, ICOUNT=10,

Şekil 5.22' de, taşkın durumunda, barajlardan bırakılan toplam akım miktarı,

Şekil 5.23' de, Menzelet Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi,

Şekil 5.24' de, Kılavuzlu Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi,

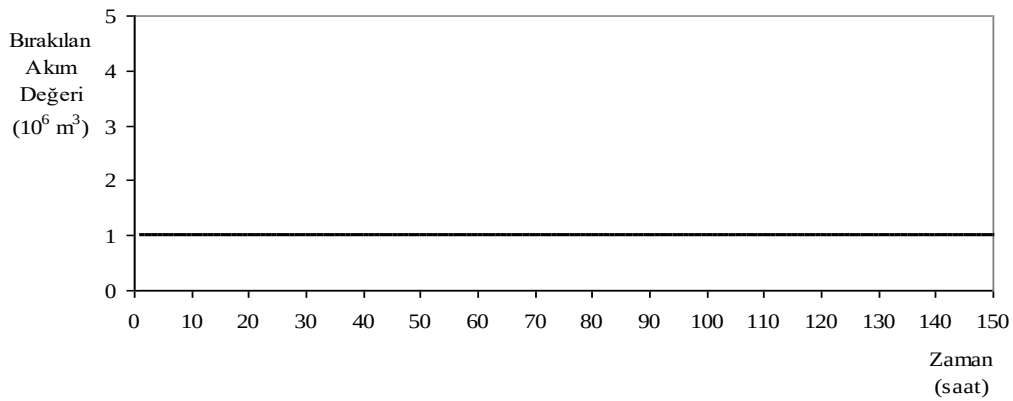
Şekil 5.25' de Sır Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi,

Şekil 5.26' da Berke Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi,

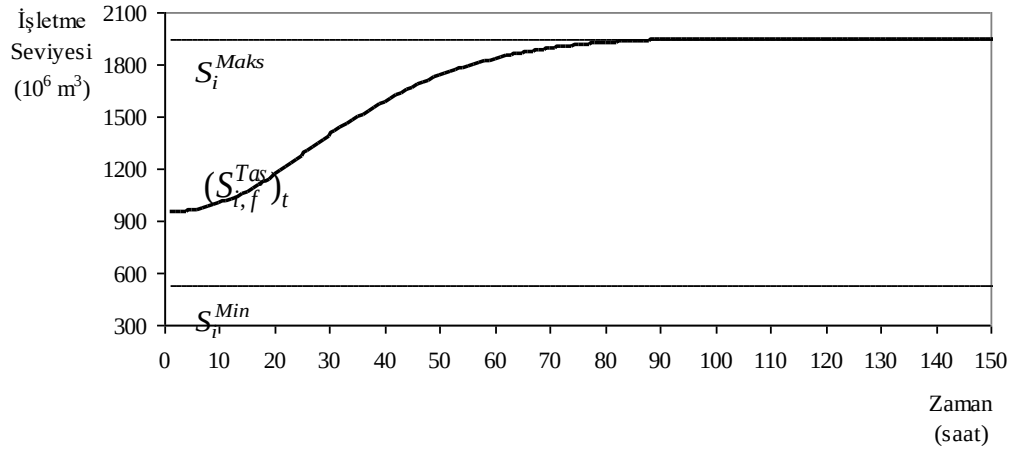
Şekil 5.27' de, Aslantaş Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi,

Tablo 5.20' da, barajlardaki optimal taşkın kontrol seviyeleri ($f=150$ saat, $t=12$. ay içinde)

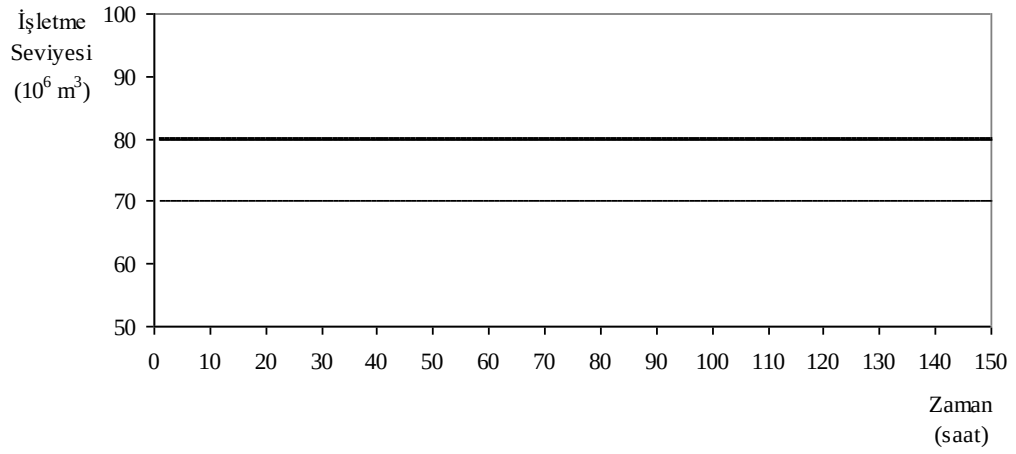
elde edilmiştir. Burada, taşkın durumunda kısa süreli işletme sonucunda, havzadan gelen akımlar çok barajlı sistem tarafından ilave taşkın hacmi kullanarak depolanmakta ve barajdan bırakılan akımlar enküçüklenmektedir. Elde edilen taşkın kontrol seviyelerine bakıldığında, Menzelet Barajı'na havzasından gelen taşkın hidrografı akımlarının barajdan bırakılmadan depolanması için belirli bir taşkın hacmi ayrıldığı (Şekil 5.23), görülmektedir. Burada, taşkını karşılamak için ayrılan hacim yeterli olduğu için, diğer barajlarda, ilave taşkın hacmine gerek kalmamıştır, (Şekil 5.24, 25, 26 ve 27). Barajlardan bırakılan akımlar havzadan gelen akımları etkilemeyecek büyüklükte olduğu, Şekil 5.22' de, görülmektedir.



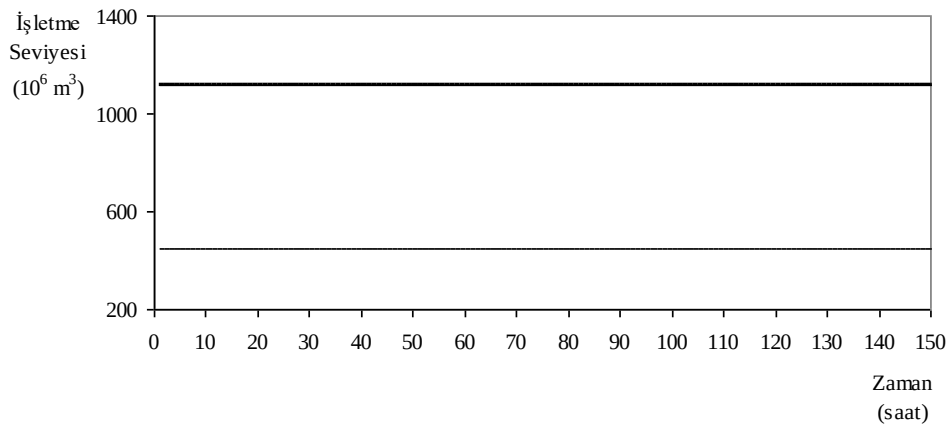
Şekil 5.15. Taşkın durumunda, her bir barajdan bırakılan toplam akım miktarı



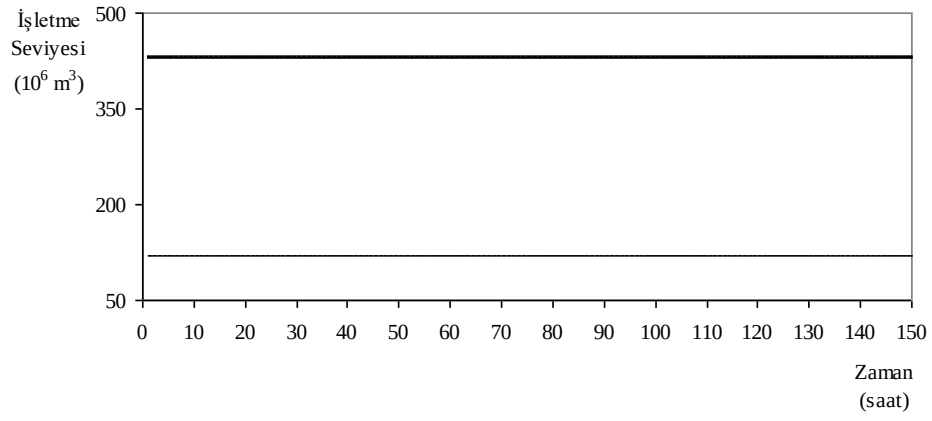
Şekil 5.16. Menzelet Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi



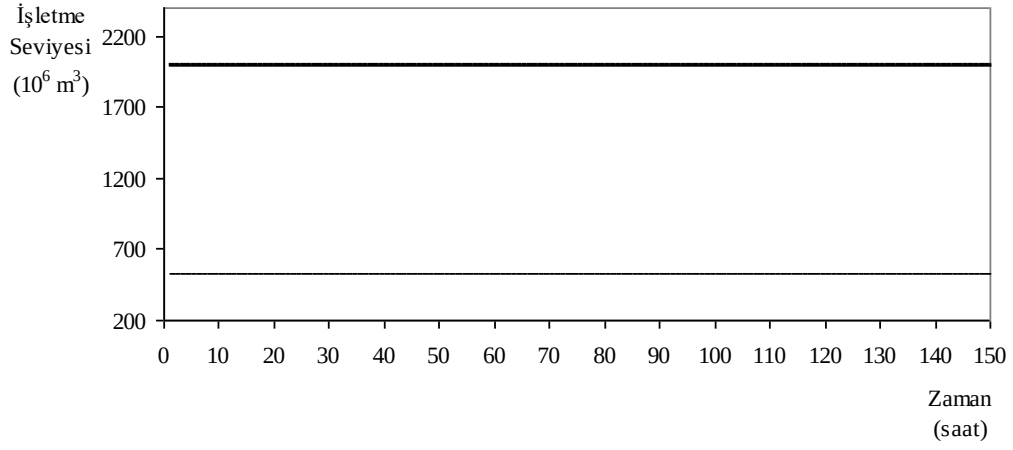
Şekil 5.17. Kılavuzlu Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi



Şekil 5.18. Sır Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi



Şekil 5.19. Berke Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi



Şekil 5.20. Aslantaş Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi

Tablo 5.11. Barajlardaki optimal taşkın kontrol seviyeleri (f=150 saat, t=12. ay içinde)

Barajlar	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş
$S_{i,t}^{Tas}$ (10^6 m^3)	953	80	1120	430	1990

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çok amaçlı optimal işletme için çoklu baraj sistemlerinin incelendiği bir araştırma yapılmıştır. Araştırmada, su kaynakları sistemi içerisinde farklı şekillerde bağlantılı olan barajlar, matematiksel olarak tanımlanan tüm değişkenlerle birlikte ele alınmıştır ve daha sonra,

- Uzun zamanlı işletme modelinde aylık akımlar kullanılması,
- Kısa zamanlı işletme modelinde tasarım amaçlı taşkın hidrografları kullanılması,
- Kinematik dalga modeli, barajlardan saatlik olarak gönderilen akımların akarsu yatağında ötelenerek taşındığı bir model

kurulmuştur. Yapılan bu modellere göre ortaya çıkan sonuçlar aşağıda sıralı olarak yazılmıştır:

1. Tasarım amaçlı taşkın hidrografının Menzelet Barajı'na ait olması nedeniyle, kısa süreli planlama için yapılan işletme optimizasyonunda taşkın durumunu kontrol eden ve yöneten baraj Menzelet Barajı olarak belirlenmiştir.
2. Kinematik dalga modeli, saatlik işletme uygulamalarında barajlardan akarsu yatağına gönderilen akımın bir ardındaki baraja ulaşma süresini ve ulaşma değerini ortaya iyi bir sonuç çıkarmak için kullanılmıştır.

Buna göre,

- Barajdan gönderilen akım değeri arttıkça, ulaşma zamanının azaldığı,
- Barajlar arasındaki mesafe çok kısa olduğunda, barajdan gönderilen akımın diğer baraja değişmeden ulaştığı,
- Barajlar arası mesafe arttıkça, barajdan gönderilen akım değeri diğer baraja ulaşırken azalır,
- Barajlar arası mesafe arttıkça, ulaşma zamanının da arttığı, mesafenin azaldıkça ise ulaşma zamanının azaldığı gözlemlenmektedir.

KAYNAKLAR

- Bellman, R. and Dreyfus, S. (1962) *Applied Dynamic Programming*. Princeton University Press, Princeton, NJ
- Cunge J, Holly FM Jr, Verwey A (1980) *Practical Aspects Of Computational River Hydraulics*. Pitman, London
- Georgakakos, A. (1989), Extended Linear Quadratic Gaussian Control: Further Extensions. *Water Resources Research*, 25-2,191-201 DOI:10.1029/WR025i002p00191
- Giles, J. E. and Wunderlich, W. O., (1981). Weekly Multipurpose Planning Model For TVA Reservoir System. *Water Resour. Plng. Mgmt.* 495-511
- Hall, W. A., Askew, A. J., Yeh, W-G. (1969). Use of the Critical Period in Reservoir Analysis. *Water Resources Research* , 95/105 DOI:10.1029/WR005i006p01205
- Heidari, M., Chow, V. T., Kokotović, P. V., Meredith, D. D., (1971), Discrete Differential Dynamic Programing Approach to Water Resources Systems Optimization
- Karamouz, M., Vasiliadis, H. V., (1992), Bayesian stochastic optimization of reservoir operation using uncertain forecasts DOI:10.1029/92WR00103
- Kelman, J., Stedinger, J. R., Lisa A. Cooper, Hsu, E., Yuan, S., (1990). Sampling Stochastic Dynamic Programming Applied to Reservoir Operation. *Water Resources Research*, 26(3), 447-454 DOI:10.1029/WR026i003p00447
- Labadie, J. W., Lazaro, R. C., Morrow, D. M., (1981). Worth of Short-Term Rainfall Forecasting for Combined Sewer Overflow Control. *Water Resources Research*, 17(6),1594-1604 DOI: 10.1029/WR017i005p01489
- Larson, R. E., Keckler, W. G. (1968), *Dynamic Programming Applications to Water Resource System Operation and Planning*, Stanford Research Institute, Menlo Park, California 24, 80-109 DOI: 10.1016/0022-247X(68)90040-4
- Maidment, D. R., Chow, V. T., (1981), Stochastic state variable dynamic programing for reservoir systems analysis. *Water Resources Research* 17(6), 1578-1584 DOI:10.1029/WR017i006P01578
- Mishalani, N. and Palmer, N. (1988), Forecast uncertainty in water supply reservoir operation, *Water Resources Bulletin*, 24-6, 1237-1245 DOI: 10.1111/j.1752-1688.1988.tb03043.x
- Nopmongkol, P., Askew, A. J., (1976), Multilevel incremental dynamic programing, *Water Resources Research*, 12(6),1291-1297 DOI: 10.1017/CBO9780511535710.008

- Opan, M., (2007), Çok barajlı sistemlerde çok amaçlı optimal işletme, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 232690
- Sert, M., Kızıltan, G., Dalgıç, A. İ., Karadeniz, M., Ünal, A. U. ve Uşkay, S., (1982), Bir akarsu üzerindeki bir seri hidroelektrik tesisin optimal boyutlandırma ve işletilmesi, Munzur Suyu Projesi Uygulaması, TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, Yöneylem Araştırması Bölümü, Gebze-Kocaeli
- Sert, M., Öcal, M., Oktay N. ve Ertuğrul M. (1983), *Sakarya Havzası optimal enerji üretimi projesi*, TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, Yöneylem Araştırması Bölümü, Gebze-Kocaeli
- Stedinger, J. R., Sule, B. F., Loucks, D.P. (1984), Stochastic dynamic programming models for reservoir operation optimization, *Water Resources Research*, 20(11) 1499-1505 DOI: 10.1029/WR020i011p01499
- Tejada-Guibert, J. A., Johnson, S. S., Stedinger, J. R., (1995), The Value of Hydrologic Information in Stochastic Dynamic Programming Models of a Multireservoir System, *Water Resources Research*, 31(10), 2571-2579 DOI: 10.1029/95WR02172
- Vasiliadis, H. V., and Karamouz, M., (1994), *Erratum: "Demand-Driven Operation of Reservoirs Using Uncertainty-Based Optimal Operating Policies"* (January/February, 1994, Vol. 120, No. 1)
- Wasimi, S., and Kitanidis, P. (1983), Real-time forecasting and daily operation of a multireservoir system during floods by linear quadratic Gaussian control, *Water Resources Research*, 19-6, 1511-1522 DOI: 10.1029/WR019i006p01511
- Yakowitz, S., "Dynamic programming applications in water resources", *Water Resources Research*, 18(3), 673-696, (1982), DOI: 10.1029/WR018i004p00673
- Yeh, W. W.-G. and Trott, W. J., 1972, Optimization of water resources development, UCLA Engineering Reports *UCLA-ENG-7245*, University of California, Los Angeles
- Yurtal, R., (1993), Çoklu Baraj sistemlerinin enerji optimizasyonu için geliştirilmiş etkin bir artırılmış dinamik programlama modeli ve aşağı Seyhan Havzası'na uygulanması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 33647

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Üye, M., Ural, B. E. (2022). İçme Suyu Arıtma Tesisi Filtrasyon İşleminde Farklı Filtre Malzemesi Kullanımı ve Borulama/Geri Yıkama Pompa Kapasitesi Değişikliklerinin Arıtma Verimine Etkisi, *Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi*, Imascon, Kocaeli, 13-14 Mayıs 2022.



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve ortaokul eğitimini Ankara’da, Lise eğitimini Kocaeli’nde tamamladı. 2010 yılında girdiği Beykent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2014 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl içerisinde girdiği Ankara’da bir inşaat firmasında aldığı çeşitli görevlerle çalışmaya devam etmektedir.

