

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ELEVİYAN SULAMA REZERVUARINDA VERİ MADENCİLİĞİ
YAKLAŞIMLARI İLE İŞLETME KURALLARININ BELİRLENMESİ**

Mohammad Taghi SATTARI

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

ANKARA

2009

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora TEZİ

ELEVİYAN SULAMA REZERVUARINDA VERİ MADENCİLİĞİ YAKLAŞIMLARI İLE İŞLETME KURALLARININ BELİRLENMESİ

Mohammad Taghi SATTARI

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Fazlı ÖZTÜRK

Kurak ve yarı kurak iklime ve düzensiz yağış dağılımlarına sahip olan İran'da nüfusun artması suya olan talebi daha çok arttırmaktadır. Çünkü nüfusun hızlı artışı suyu kıt bir kaynak haline getirmektedir. Özellikle kurak periyotlarda suyun temini önemli bir problem haline gelmektedir. Bu nedenle yenilenebilir olarak adlandırılan su kaynaklarının efektif kullanım çok önemlidir. Son yıllarda su kaynaklarında ve sulama amaçlı rezervuarlarda optimizasyon tekniklerinin ve veriye dayalı modellerin kullanımı giderek artmaktadır. Öte yandan hesaplamalı zeka tekniklerinde olan gelişmeler su ile ilişkili problemlerin çözümüne olanak sağlamaktadır. Bu teknikler geleneksel kontrol tekniklerine de alternatif bir yaklaşım oluşturmaktadır. Aktif kapasitesi 60 hm³ olan Eleviyan barajı Kuzeybatı İran'daki Marağa kenti bölgesinin içme, kullanma ve sulama suyu ihtiyaçlarını karşılamak üzere inşa edilmiştir. Bu tez de Eleviyan barajında uygulanacak işletme politikası alternatif yaklaşımlar kullanarak belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaçla içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşıladıktan sonra rezervuarın inşasından önce ölçülen 21 yıllık akımların, Monte Carlo simülasyonu yöntemi ile türetilen akımların ve rezervuarın inşasından sonraki akımların kullanıldığı üç aşamada optimizasyon modelleri ile rezervuardan bırakılan sulama suyu maksimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre rezervuarın planlama aşamasında belirlenen rezervuar kapasitesi uygun bulunmuştur. Sonra barajın inşasından önceki ve sonraki dönemlerde veri madenciliği yaklaşımı ile işletme kuralları belirlenmiştir. Belirtilen üç aşama için optimizasyondan elde edilen veriler veri madenciliği yönteminde girdi olarak kullanılmış ve rezervuardan bırakılan su miktarları karar ağaçları veya kurallar seti olarak belirlenmiştir. Tezde kullanılan veri madenciliği yaklaşımı Quinlan (1993) tarafından geliştirilen C5.0 algoritmasıdır. Karar ağaçları barajın inşasından önceki ve sonraki dönemler için test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar rezervuardan bırakılan su miktarının belirlenmesinde veri madenciliği yaklaşımına dayalı işletme kurallarının etkin olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca rezervuar işletmeciliğinde veri madenciliği yaklaşımları ile optimizasyon tekniklerinin birlikte uygulanması ile daha başarılı bir işletmecilik gerçekleştirilebilecektir.

Şubat 2009, 142 sayfa

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon ve Simülasyon Modelleri, Rezervuar İşletmeciliği, Doğrusal Programlama, Monte Carlo Yöntemi, Veri Madenciliği, Rezervuar İşletme Kuralları, Karar Ağaçları.

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DATA MINING APPROACH FOR DERIVING ELEVIYAN IRRIGATION RESERVOIR OPERATING RULES

Mohammad Taghi SATTARI

Ankara University
Graduate Scholl of Natural and Applied Sciences
Department of Farm Structure and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Fazlı ÖZTÜRK

The rise in the population in Iran, which has arid and semiarid climate and an erratic precipitation distribution in space and time, has increased demand to water much more than ever. Because of rapid growth in the population, water is getting a scarce resource. Especially, supplying of water need is becoming more serious problem in drought periods. Therefore, effective use of water resources called renewable is very important. At recent years, the optimization techniques and models based data in water resources and reservoirs with irrigation purpose have been commonly used. On the other hand, advance in the field of computational intelligence techniques allowed to solve water-related problem. These techniques became an alternative approach to the conventional control techniques. The Eleviyan dam with an active capacity of 60 hm³ was constructed for the irrigation and municipal water needs of the Maraghan region in Northwestern Iran. This thesis was aimed to determine operation policy belonging to the Eleviyan dam by alternative approaches. For this purpose, after allocating the municipal water need, the optimization models that maximize the released water for irrigation were developed for three condition, namely, the inflows measured in the 21 years prior to the construction of the reservoir, the inflows generated by the Monte Carlo simulation method and in the third phase, and the inflows after the construction of the reservoir. The results based on the optimization models implied that the capacity calculated during planning was right. And then, a data mining approach was applied to detect the operating rules in before and after dam construction periods. The data from the optimization for three conditions were used as input of the data mining process, and determined water to release from the reservoir as a decision trees or rules set. The data mining approach used in this work is the decision tree technique, named as C5.0 and developed by Quinlan (1993). The decision trees were validated for time periods before and after dam construction. The results showed that the operating rules based on data mining approach were effectively used water to release from the reservoir. Moreover, when optimization techniques with data mining approaches were taken into consideration in reservoir operation together, the reservoir operation was more successful.

February 2009, 142 pages

Key Words: Optimization and Simulation models, Reservoir operation, Linear programming, Monte Carlo method, Data mining, Reservoir operation rule, Decision tree.

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam sırasında her türlü ilgi ve yardımları ile birlikte tavsiyelerini gördüğüm; (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı öğretim üyesi) danışman hocam Prof. Dr. Fazlı ÖZTÜRK'e, (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı öğretim üyesi), Prof. Dr. Süleyman KODAL'a, (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı öğretim üyesi), Doç. Dr. Halit APAYDIN'a, (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı öğretim üyesi), Prof. Dr. Nazife BAYKAL'a, (Orta Doğu Teknik Üniversitesi Enformatik Enstitüsü öğretim üyesi), Doç. Dr. Kadri Yürekli'ye (Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı) Araştırma görevlisi Alper Serdar ANLI'(Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı) ya, destekleri, anlayışları ve fedakarlıklarından dolayı aileme ve eşim Saba'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mohammad Taghi SATTARI

Ankara, Şubat 2009

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Su Kaynaklarının Planlaması	5
1.2 Rezervuarların İşletme Süresi Açısından Gruplandırılması	5
1.2.1 Haznedeki su seviyeleri.....	6
1.2.2 Hazneden talepleri karşılayacak su miktarının analizi.....	8
1.3 Rezervuar İşletmesi Çalışmalarında Matematiksel Programlama.....	9
1.4 Veri Madenciliği	13
1.4.1 Veri madenciliği modelleri.....	16
1.4.1.1 Sınıflama ve tahmin	16
1.4.1.2 Kümeleme modelleri.....	18
1.4.1.3 Birliktelik kuralları ve ardışık zamanlı örüntüler.....	19
1.4.1.4 Bellek tabanlı yöntemler.....	19
1.4.1.5 Yapay sinir ağları (YSA).....	19
1.4.1.6 Bulanık mantığı.....	19
1.4.1.7 Karar ağaçları.....	20
1.5 Çalışmanın Amaçları.....	20
2. KURAMSAL TEMELLER.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
3.1 Materyal.....	34
3.1.1 Çalışma bölgesinin genel tanıtımı ve özellikleri.....	34
3.1.2 Eleviyan rezervuarına ait işletme parametreleri.....	36
3.1.2.1 Sulama suyu talepleri.....	36
3.1.2.2 İçme ve kullanma suyu talepleri.....	43
3.1.2.3 Eleviyan barajında yağmur ve buharlaşma miktarı.....	43

3.1.2.4 Akımlar.....	45
3.1.3 Çalışmada kullanılan yazılımlar.....	48
3.1.3.1 GAMS.....	48
3.1.3.2 SYSTAT 11.....	48
3.1.3.3 See5	49
3.2 Yöntem.....	51
3.2.1 Eleviyan rezervuarına ait optimizasyon modeli.....	51
3.2.2 Monte Carlo simülasyon yöntemi.....	53
3.2.2.1 Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi.....	55
3.2.2.2 Dağılımlardan rasgele sayı türetilmesi.....	57
3.2.3 Veri madenciliği yöntemi.....	58
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	70
4.1 Eleviyan Rezervuarı Parametrelerindeki Değişim.....	70
4.2 Eleviyan Rezervuarının İşletme Sürecindeki Durumu.....	73
4.3 Sofi Çayı Akımlarının Monte Carlo Yöntemine Göre Simülasyonu.....	79
4.4 Doğrusal Programlama Modeline İlişkin Sonuçlar.....	83
4.4.1 Rezervuar inşası öncesi 21 yıllık gözlenmiş akımlara uygulanan doğrusal programlama modeline ilişkin sonuçlar.....	83
4.4.2 Türetilmiş akım verilerine uygulanan doğrusal programlama modeline ilişkin sonuçlar.....	90
4.4.3 İşletme sonrası uygulanan doğrusal programlama modeline ilişkin sonuçlar	99
4.5 Veri Madenciliği Sonuçları.....	105
4.5.1 Rezervuarın inşasından önceki 21 yıllık (Ekim 1973-Eylül 1994) bırakılacak optimum su miktarları verilerine göre elde edilen sonuçlar	106
4.5.2 Rezervuarın inşasından önceki 21 yıllık (Ekim 1973-Eylül 1994) Monte Carlo simülasyonundan türetilmiş akımlara göre elde edilen sonuçlar.....	111
4.5.3 10 yıllık (Ekim 1997-Eylül 2007) optimum işletme süresi verilerine göre elde edilen sonuçlar.....	116
4.5.4 10 yıllık (Ekim 1997-Eylül 2007) işletme süresi verilerine göre elde edilen sonuçlar	120

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	128
KAYNAKLAR.....	132
ÖZGEÇMİŞ	140

SİMGELER DİZİNİ

A_0	Doğrusallaştırılmış denklemin sabit değeri
A_{mean}	Rezervuarın dönemler arası ortalama alanı
DE	Bitki desenine göre hesaplanmış sulama suyu talebi
DR	İçme ve kullanma suyu talebi
e	Buharlaşma miktarı
EV	Hazne göl yüzeyinden buharlaşan su hacmi
FS1	Bulunduğumuz ayla bir önceki ayda depolanan su miktarında olan değişim
FS12	Bulunduğumuz ayda bir önceki yıla göre depolanan su miktarındaki değişim
I	Rezervuara giren akım miktarı
IR	Sulama amacı ile rezervuardan bırakılan su miktarı
i	Yıl indisi
j	Ay indisi
K.S	Kolmogorov-Smirnov test istatistik değeri
K_a	Rezervuarın aktif kapasitesi
K_d	Rezervuarın ölü hacmi
p	Yağış miktarı
PP	Hazne göl yüzeyine düşen yağmur hacmi
Spill	Rezervuardan savaklanan su miktarı
ST	Rezervuarda depolanan su miktarı
STmean	Rezervuarda dönemler arası ortalama depolanan su miktarının hacmi
A	Doğrusallaştırılmış denklemin eğimi
α	Şekil parametresi
β	Ölçek parametresi
δ	Ölçek parametresi
θ	Ölçek parametresi
μ	Şekil parametresi

ŞEKİLLERİN DİZİNİ

Şekil 1.1 Haznedeki su seviyeleri.....	7
Şekil 1.2 Veri Madenciliği aşamaları.....	15
Şekil 1.3 Örnek karar ağacı.....	20
Şekil 3.1 Araştırma alanının konumu.....	34
Şekil 3.2 Eleviyan rezervuarının şematik konumu.....	36
Şekil 3.3 Çalışmada yürütülen süreç ve farklı veri setlerinde veri madenciliği sürecinin akış şeması.....	64
Şekil 4.1 Aylık içme ve kullanma suyu taleplerinin değişimi.....	70
Şekil 4.2 Açık su yüzeyinden aylık ortalama buharlaşan su miktarı.....	71
Şekil 4.3 Aylık toplam yağış miktarı	71
Şekil 4.4 Aylık yağış miktarının değişimi.....	72
Şekil 4.5 Ekim 1973 ile Eylül 1994 arasında aylık ortalama akımların değişimi....	72
Şekil 4.6 Eleviyan rezervuarında hacim-alan ilişkisi.....	73
Şekil 4.7 Rezervuara giren aylık akımlar.....	74
Şekil 4.8 Eleviyan rezervuarında depolanan su miktarı.....	76
Şekil 4.9 Rezervuardan bırakılan su miktarı.....	77
Şekil 4.10 Aylık talep edilen sulama ve içme-kullanma suyu miktarları.....	77
Şekil 4.11 Rezervuardan bırakılan ve talep edilen toplam su miktarları arasındaki Fark.....	79
Şekil 4.12 Ölçülmüş akımlar ile türetilmiş akımların karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.13 Bırakılması gereken optimum sulama suyu miktarları ile talep arasındaki değişim.....	84
Şekil 4.14. Depolanması gereken optimum su miktarları.....	86
Şekil 4.15 Buharlaşması beklenen optimum su miktarlarının değişimi.....	88
Şekil 4.16 Savaklanması beklenen optimum su miktarı.....	89
Şekil 4.17 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla hesaplanmış bırakılması beklenen optimum sulama suyu miktarlarının karşılaştırılması.....	91
Şekil 4.18 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla elde edilen bırakılması beklenen optimum sulama suyu miktarları arasındaki ilişki.....	92

Şekil 4.19 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla hesaplanmış depolanması beklenen optimum su miktarlarının karşılaştırılması.....	94
Şekil 4.20 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlara göre hesaplanmış depolanması beklenen optimum su miktarları arasındaki ilişki.....	94
Şekil 4.21 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla hesaplanmış buharlaşması beklenen optimum su miktarlarının karşılaştırılması.....	96
Şekil 4.22 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlara göre hesaplanan optimum buharlaşması beklenen su miktarları arasındaki ilişki.....	97
Şekil 4.23 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla hesaplanmış savaklanması beklenen optimum su miktarlarının karşılaştırılması.....	99
Şekil 4.24 Toplam bırakılması gereken optimum su miktarları ile ölçülmüş bırakılan su miktarlarının karşılaştırılması.....	101
Şekil 4.25 Ölçülmüş ve optimum toplam bırakılan su miktarları arasındaki ilişki.....	102
Şekil 4.26 Ölçülmüş depolanan su miktarları ile depolanan optimum su miktarlarının ile karşılaştırılması.....	104
Şekil 4.27 Ölçülmüş depolanan ve optimum depolanan su miktarları arasındaki ilişki.....	105
Şekil 4.28 Rezervuar inşası öncesine ait 21 yıllık optimum işletmeye göre veri madenciliğinin değerlendirilmesi.....	111
Şekil 4.29 Rezervuar inşası öncesine ait 21 yıllık Monte Carlo optimum işletmeye göre veri madenciliğinin değerlendirilmesi.....	115
Şekil 4.30 Rezervuar işletmesi süresine ait optimum işletmeye göre veri madenciliğinin değerlendirilmesi.....	120
Şekil 4.31 Rezervuar işletmesi süresine ait işletme verilerine göre veri madenciliğinin değerlendirilmesi.....	126

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Çalışma bölgesine ait aylık iklim değerleri.....	35
Çizelge 3.2 Eleviyan barajının mansabında bulunan sulama alanı ve bölgelere ait ekiliş alanları.....	37
Çizelge 3.3 ET_0 değerleri.....	37
Çizelge 3.4 Eleviyan havzasında tarım alanlarına ait bitki katsayıları.....	38
Çizelge 3.5 Bölge 1'in brüt sulama suyu talebi.....	39
Çizelge 3.6 Bölge 2A'nin brüt sulama suyu talebi.....	40
Çizelge 3.7 Bölge 2B'nin brüt sulama suyu talebi.....	40
Çizelge 3.8 Bölge 3'ün brüt sulama suyu talebi.....	41
Çizelge 3.9 Bölge 4'ün brüt sulama suyu talebi.....	41
Çizelge 3.10 Toplam brüt sulama suyu talebi.....	42
Çizelge 3.11 Aylık ortalama içme ve kullanma suyu talepleri	43
Çizelge 3.12 Açık su yüzeyinden buharlaşan aylık ortalama su miktarı.....	44
Çizelge 3.13 Aylık toplam yağmur miktarı.....	44
Çizelge 3.14 Marağa sinoptik meteoroloji istasyonuna ait sıcaklık değerleri.....	45
Çizelge 3.15 Tazekent akım gözlem istasyonundaki aylık ortalama akım miktarları-a.....	46
Çizelge 3.16 Tazekent akım gözlem istasyonundaki aylık ortalama akım miktarları-b.....	47
Çizelge 3.17 Hacim-Alan diyagramı değerleri.....	48
Çizelge 3.18 Talebi karşılama oranları ve sınıflandırılması.....	65
Çizelge 3.19 FS1 miktarları (veri seti 1).....	66
Çizelge 3.20 FS12 miktarları (veri seti 1).....	67
Çizelge 3.21 FS1 miktarları (veri seti 2).....	67
Çizelge 3.22 FS12 miktarları (veri seti 2).....	68
Çizelge 3.23 FS1 miktarları (veri seti 3).....	68
Çizelge 3.24 FS12 miktarları (veri seti 3).....	69
Çizelge 3.25 FS1 miktarları (veri seti 4).....	69
Çizelge 3.26 FS12 miktarları (veri seti 4).....	69

Çizelge 4.1 Ekim 1973-Eylül 2007 tarihleri arasında rezervuara giren aylık akımlar.....	74
Çizelge 4.2 Ekim 1973-Eylül 2007 tarihleri arasında rezervuarda aylık depolanan su miktarı.....	75
Çizelge 4.3 Ekim 1973-Eylül 2007 tarihleri arasında rezervuardan bırakılan aylık su miktarları.....	76
Çizelge 4.4 Ekim 1973-Eylül 2007 tarihleri arasında rezervuardan bırakılan ve talep edilen toplam su miktarları arasındaki fark.....	78
Çizelge 4.5 Sofi Çayı akımlarına en çok uyan dağılımlar ve bunlara ait parametrelerin değerleri.....	80
Çizelge 4.6 Monte Carlo simülasyon yöntemi ile türetilmiş akım verileri.....	81
Çizelge 4.7 Gözlenmiş ve türetilmiş akım verilerine ait istatistik değerler.....	82
Çizelge 4.8 Ekim 1973-Eylül 1994 yılları arasında bırakılması gereken optimum su miktarları.....	83
Çizelge 4.9 Ekim 1973-Eylül 1994 yılları arasında depolanması gereken optimum su miktarları.....	85
Çizelge 4.10 Ekim 1973-Eylül 1994 yılları arasında optimum buharlaşması beklenen su miktarları.....	87
Çizelge 4.11 21 yıllık savaklanması beklenen optimum su miktarı	89
Çizelge 4.12 Türetilmiş akımlara göre hesaplanan bırakılması gereken optimum sulama suyu miktarları.....	90
Çizelge 4.13 Türetilmiş akım verilerine göre hesaplanan depolanması beklenen optimum su miktarları.....	93
Çizelge 4.14 Türetilmiş akımlara göre hesaplanan göl yüzeyinden buharlaşması beklenen optimum su miktarları.....	95
Çizelge 4.15 Türetilmiş akımlara göre hesaplanan savaklanması beklenen optimum su miktarları.....	98
Çizelge 4.16 Ölçülmüş toplam bırakılan su miktarları.....	100
Çizelge 4.17 Toplam bırakılması gereken optimum su miktarları.....	101
Çizelge 4.18 Ekim 1997 ile Eylül 2007 arasında ölçülmüş depolanan su miktarları	103
Çizelge 4.19 Depolanması beklenen optimum su miktarları.....	103
Çizelge 4.20 Eğitim süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 1).....	109

Çizelge 4.21 Test süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 1).....	110
Çizelge 4.22 Eğitim süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 2).....	114
Çizelge 4.23 Test süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 2).....	114
Çizelge 4.24 Rezervuar inşası öncesi (Ekim 1973-Eylül 1994) durumların gösterdikleri dağılım.....	116
Çizelge 4.25 Eğitim süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 3).....	118
Çizelge 4.26 Test süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 3).....	119
Çizelge 4.27 Eğitim süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 4).....	124
Çizelge 4.28 Test süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 4).....	124
Çizelge 4.29 Rezervuar inşası sonrası (Ekim 1997-Eylül 2007) durumların gösterdikleri dağılım.....	127

1. GİRİŞ

Yeryüzündeki su kaynaklarının yaklaşık %3'ü tatlı su kaynaklarıdır. Dünyadaki su kaynaklarının %97'sinden fazlası okyanus ve denizlerde olup kullanım için çok tuzludur (Seckler *et al.* 1998). Düşük orandaki tatlı suların %78'i kuzey ve güney kutuplardaki buzullarda bulunmaktadır. Geriye kalan %22'lik kısmı da tüm dünya ülkeleri arasında içme ve kullanma, sulama ve sanayi sektörleri tarafından paylaşılmaktadır (Aküzüm vd. 1999). Su kaynaklarının ve nüfus yoğunluklarının dünya genelinde dengeli olmayan bir biçimde dağılması nedeniyle yaklaşık 80 ülkede olmak üzere nüfusun %40'ında su talepleri, arzlardan daha fazla olup ihtiyacı karşılayabilmekten uzak kalmaktadır (Bennett 2000). Kullanılabilir su kaynaklarının giderek kısıtlandığı günümüzde, suyun daha etkin kullanımı sağlanmalı, su kirliliği önlenmeli, sulamada aşırı su kullanımından kaçınılmalı, su tüketimi az olan bitkiler yetiştirilmeli, sulama sistemlerinde işletme ve bakımda mevcut durum geliştirilmelidir.

Su depolama yapıları; içme ve kullanma suyu temini, sulama suyu temini, enerji üretimi, taşkın kontrolü, su ürünleri yetiştiriciliği ve rekreasyon amaçlı olarak inşa edilir (Aküzüm ve Öztürk 1996). Genel olarak akımın fazla olduğu aylardaki suyu az olduğu aylarda kullanmak amacıyla yapılan barajlar aynı zamanda akarsu debisindeki değişimleri de kontrol etmektedir. Bir sistemin modellenmesi için her elemanın diğer elemanlarla olan ilişkisi ve sistemin tümünde olan rolü belirlenir. Su kaynakları sistemlerinin modellemesinde tüm fiziksel, kimyasal, biyolojik, kültürel, sosyal ve ekonomik ilişkilerin tanıtımı ve bunların uygun biçimde modelde kullanımı açıklanmalıdır. Kullanılan teknikler sistemle uyumlu olmalı ve tüm parametreler belirlenmelidir. Su kaynakları yönetiminde kullanılan modeller kendi özellikleri esas alınarak analitik, tasarım, simülasyon ve optimizasyon gruplarına bölünebilir. Veri özellikleri bakımından ise modeller deterministik ve stokastik gruplara ve planlama zamanı açısından uzun-zamanlı ve kısa-zamanlı modellere ayrılabilir. Yağışların zaman ve konum açısından düzgün dağılmaması, su kaynaklarının yetersizliği ve suyun önemi rezervuarların optimum yöntemlere göre işletme politikalarını belirlemeyi gerektirmektedir. Su sektörü yöneticileri mevcut su ve parasal kaynakların kısıtlılığı ve rezervuarın inşa maliyetinin fazlalığı nedeni ile yeni işletme yöntemlerinden faydalanmaya daha fazla özen göstermektedirler. Düzgün yönetim ve işletme

politikasının eksikliği sonucunda yapılmış yatırımlar boşa harcanabilir ve çevreye olumsuz etkiler bırakabilir. Su kaynakları yönetiminde olduğu gibi diğer bilim dallarında da optimizasyon modellerinin kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Su kaynaklarının kontrolü ve yönetimi karışık ve çok disiplinli bir konu olduğu için yeterli yaklaşım ve yöntemlere ihtiyaç duymaktadır. Son on yılda, su yönetim ve kontrolünde karşılaşılan sorunlarının çözümü için kullanılan tekniklerde değişimler görülmektedir. Verilerin sayısal ortamda saklanmaya başlanmasıyla, yeryüzündeki bilgi miktarının her 20 ayda bir iki katına çıktığı günümüzde, veri tabanlarının sayısı da buna paralel olarak artmaktadır. En azından yakın geleceğin, geçmişten çok fazla farklı olmayacağı varsayımıyla geçmiş verilerden çıkarılmış olan kurallar gelecekte de geçerli olabilecek ve doğru tahmin yapılmasına olanak sağlayacaktır. Günümüzde, su kaynakları konusunda veri tabanlarının oluşumu ile birlikte veriye dayalı modellerin uygulanması da artmaktadır. Su mühendisliği konusunda veri madenciliği adı altında birçok yöntem geliştirilmektedir. Veri madenciliği büyük miktarda veri içinden tahmin yapılmasını sağlayacak bağıntı ve kuralların bilgisayar programları kullanarak aranması ile ilişkilidir.

Günümüzde matematiksel ve veri tabanlı modellerle optimum işletme kurallarını belirlemeye olan ilgi bilimsel çalışmalara zemin hazırlamıştır. Bu yöntemlerden birisi optimizasyon tekniği ile veri madenciliğinde olan karar ağaçları algoritmasının karışımıdır. Veri madenciliği kavramı birçok alanda ve özellikle bilgisayar mühendisliğinde kullanılsa da, bugüne kadar sulama alanında ağırlıklı bir çalışma konusu olmamıştır.

Veriye dayalı su kaynakları kontrolü ve yönetiminde bilgi ve iletişim teknolojileri cihazları, bilgisayar, GPS, telekomünikasyon ağları, birleşmiş süreçler ve yazılımlar veri ambarlarının oluşumunda güçlü olanaklar sağlamıştır. Bilgisayar modellerinin hızla gelişmesi mühendis ve yöneticilerin modele dayalı olarak su kaynaklarını kontrol etmesine olanak sağlamıştır. Günümüzde su kaynaklarının yönetimini, karar verme sürecini ve çeşitli senaryoları deneme imkânı veren modeller giderek yaygınlaşmaktadır. Teknolojik ve bilimsel gelişmeler sonucu daha ekonomik ve alternatif çözümlere doğru gidilmektedir. İnsan faaliyetinde rekabet edilebilir alanların

çoğalmas ve siyasi baskıların artmasıyla daha seçkin yönetimsel yaklaşımlara ve kontrol eylemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Son zamanlarda su kaynakları ve yönetiminde hidroenformasyon sistemleri üzerinde durulmaya başlamıştır. *Hidroinformatik* terimi ilk kez 1991 yılında Prof. Mike Abbott'un yeni gelişmelere ışık tutan "*Hydroinformatics*" adlı yayınında kullanılmıştır. Esası hesaplamalı hidroliğe dayalı olan hidroinformatik tekniği entegrasyon sonucu sayısal modeller, veri toplama ve veri üzerinde işleme tekniklerinden meydana gelmektedir. Hidroinformatik terimi oldukça geniş kapsamlı olup su ile ilgili sorunların çözümünde iletişim ve bilgi teknolojisi uygulamalarını da kapsar (Abbott 1991).

Hidroinformasyon sistemleri bilişim teknolojilerinde olan son gelişmeleri, hesaplamayı, bilgisayara dayalı modelleri, yapay zekayı, veri analizi ve işlemlerini, optimizasyon ve karar destek sistemlerini içermektedir. Örneğin taşkın uyarı sistemi, yağış istasyonlarından ölçülen verileri ve meteorolojik modellerden elde edilen sonuçları iletişim hatları vasıtasıyla hidrolojik modellere girdi olarak alır ve veriye dayalı modellerle su seviyesini ve rezervuarda depolanacak su miktarını tahmin eder. Bu bilgilerle birlikte bilgiye dayalı sistemlerden alınan eylem planı karar vericilere ve işletmecilere sunulur. Yapılan tahminler üzerinden işletme kuralları çıkarılır ve rezervuar işletmesi gerçekleştirilmiş olur. Klasik modellemede süreç, olayın fiziğine dayalı olduğu için fiziğe dayalı modelleme olarak bilinir ve süreç esasta matematiksel ve fiziksel eşitliklerle anlatılmaya çalışılır. Bu tür modellere örnek olarak hidrodinamik model verilebilir. Hidrodinamik modelde Navier-Stokes diferansiyel eşitlikleri sayısal biçimde kısmi diferansiyel yöntemi ile çözülür. Bunun tersi olarak, yapay zekâ teknikleri gibi veriye dayalı modellemede süreç veya olay, kısıtlı bilgiye dayalı ve sadece girdi-çıkı verileri üzerinden karakterize edilmeye çalışılır (Solomatine 2002).

Veri madenciliği çalışmalarında başarılı olmanın en önemli şartı, projenin hangi işletme amacı için yapılacağına açık bir şekilde tanımlanmasıdır. İlgili işletme amacı, işletme problemi üzerine odaklanmış ve açık bir dille ifade edilmiş olmalı, elde edilecek sonuçların başarı düzeylerinin nasıl ölçüleceği tanımlanmalıdır. Ayrıca yanlış tahminlerde oluşacak olan maliyetlere ve doğru tahminlerde kazanılacak faydalara ilişkin tahminlere de bu aşamada yer verilmelidir. Veri madenciliği çalışmalarında

üretilecek olan sonucun fayda-maliyet analizinin, diğer bir ifade ile üretilen bilginin işletme için değerinin doğru analiz edilmesi gerekmektedir. Araştıracının işletmede üretilen sayısal verilerin boyutlarını, proje için yeterlilik düzeyini, ayrıca işletme konusu hakkındaki iş süreçlerini de iyi analiz etmesi gerekmektedir. Veri madenciliği çalışmalarında verinin hazırlanması araştıracının toplam zaman ve enerjisinin % 50 - % 75'ini harcamasına neden olmaktadır. Veri madenciliği çalışmalarında mevcut bilgi sistemleri üzerinde üretilen sayısal bilginin iyi analiz edilmesi, veriler ile mevcut iş problemi arasında ilişki olması gerektiği unutulmamalıdır. Proje kapsamında kullanılacak sayısal verilerin, hangi iş süreçleri ile üretildiği de bu veriler kullanılmadan analiz edilmelidir. Böylece araştıracı da veri kalitesi hakkında fikir sahibi olabilir. Tanımlanan bir çalışma için en uygun modelin bulunabilmesi, olabildiğince çok sayıda modelin kurularak denenmesi ile mümkündür. Bu nedenle veri hazırlama ve model kurma işleri en iyi olduğu düşünülen modele varılıncaya kadar yinelenen bir süreçtir (Solomatine 2002). Bir modelin doğruluğunun test edilmesinde kullanılan en basit yöntem basit geçerlilik testidir. Bu yöntemde tipik olarak verilerin % 5 ile % 33 arasındaki bir kısmı test verisi olarak ayrılır ve kalan kısım üzerinde modelin öğrenimi gerçekleştirildikten sonra, bu veriler üzerinde test işlemi yapılır. Bir sınıflama modelinde yanlış olarak sınıflanan olay sayısının, tüm olay sayısına bölünmesi ile hata oranı, doğru olarak sınıflanan olay sayısının tüm olay sayısına bölünmesi ile ise doğruluk oranı hesaplanır. Bazı uygulamalarda doğruluk oranlarındaki küçük artışlar çok önemli olsa da, birçok işletme uygulamasında ilgili kararın niçin verildiğinin yorumlanabilmesi çok daha büyük önem taşıyabilir. Çok ender olarak yorumlanamayacak kadar karmaşık sonuçlar çıksa da, genel olarak karar ağacı ve kural temelli sistemler model tahmininin altında yatan nedenleri çok iyi ortaya koyabilmektedir. Kurulan ve geçerliliği kabul edilen model doğrudan bir uygulama olabileceği gibi, bir başka uygulamanın alt parçası olarak da kullanılabilir. Zaman içerisinde bütün sistemlerin özelliklerinde ve dolayısıyla ürettikleri verilerde ortaya çıkan değişiklikler, kurulan modellerin sürekli olarak izlenmesini ve gerekiyorsa yeniden düzenlenmesini gerektirecektir. Tahmin edilen ve gözlenen durumlar (değerler) arasındaki farklılığı gösteren grafikler model sonuçlarının izlenmesinde kullanılan yararlı bir yöntemdir (Velickov and Solomatine 2000).

Veriye dayalı modellerde birbirleri ile örtüşen alanlar ve algoritmalar da mevcuttur. Veri madenciliği modelleri; yapay sinir ağları (YSA), karara dayalı uzman sistemler, bulanık mantık, karar çıkarma, makine eğitilmiş sistemler, kümeleme, sınıflama gibi tekniklerden oluşmaktadır. Bazen fiziğe ve veriye dayalı modellerin karışımından hibrid modeller oluşturulabilir (Solomatine 2002).

1.1 Su Kaynaklarının Planlaması

Su kaynakları sistemlerinde planlama aşamaları genel olarak kendi aralarında alt aşamalara da bölünebilen beş ana aşamada dikkate alınmaktadır. Bunlar:

- 1- Problemin tanıtımı, verilerin toplanması ve değerlendirilmesi
 - a) Çalışma bölgesinin meteorolojik, hidrolojik, hidrolik ve çevresel özelliklerinin belirlenmesi,
 - b) Bölgenin sosyal, siyasal, kültürel ve ekonomik durumunun belirlenmesi,
 - c) Yeraltı ve yerüstü suların özellikleri ve potansiyellerinin belirlenmesi,
 - d) Kanunlar, su hakları ve kurumsal ilişkilerin belirlenmesi,
 - e) Toplanmış bilgilerin değerlendirilmesi, belirsizliklerin araştırılması ve gelecekteki durumun tahmini.
- 2- Modelleme
 - a) Uygun alternatiflerin bulunması için optimizasyon ve simülasyon tekniklerinin belirlenmesi,
 - b) Belirsiz parametrelerin açıklanması,
 - c) Her alternatif için riskin belirlenmesi.
- 3- Karar verme
 - a) Bütün alternatiflerin karşılaştırılması,
 - b) Siyasal, kamusal ve finansal kısıtları dikkate alarak en uygun ve son alternatifin belirlenmesi.
- 4- Uygulama ve işletme
- 5- İzleme ve sürekli olarak sistemin değerlendirilmesidir (Loucks and Beek 2005).

1.2 Rezervuarların İşletme Süresi Açısından Gruplandırılması

Mevsim içerisindeki değişimleri göz önüne alan rezervuarlara yıl içi rezervuar denir. Bu rezervuarların kapasitesi küçük olup yıl içinde bir kaç kez dolup boşalır. Bu rezervuarlar

kısa bir zaman dilimi içinde olan su kısıtlamalarını karşılamak için kullanılır (Loucks and Beek 2005).

Çok yıllık (yıl dışı) barajlarda ortalama bir kaç yılda bir kez boşaltılabilir ve biriktirilen su miktarı yıl sonunda gelecek yıla aktarılabilir. Bu barajlarının analizinde aylık veriler yoksa yıllık akım verileri de kullanılabilir (Loucks and Beek 2005).

1.2.1 Haznedeki su seviyeleri

Bir haznedeki su seviyeleri şematik olarak şekil 1.1’de gösterilmiştir. Kullanılan tanımlar ise aşağıda açıklanmıştır.

a) Normal su seviyesi

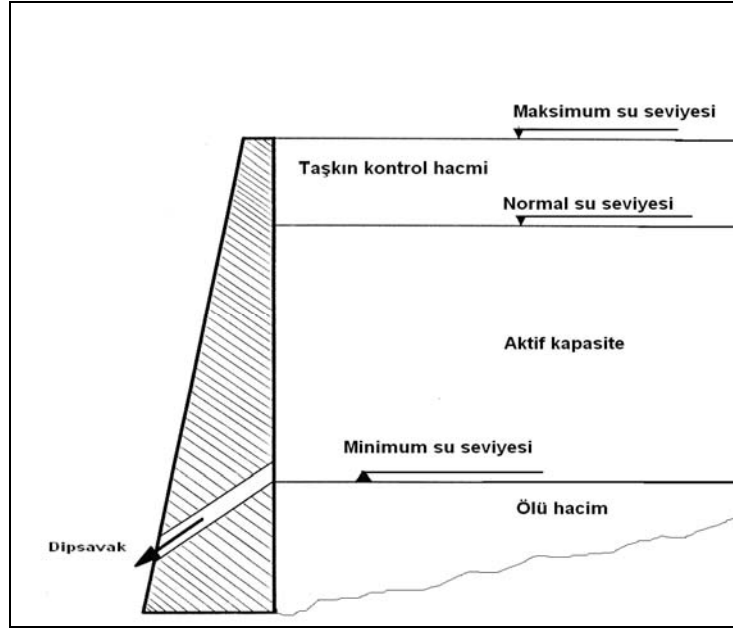
Normal koşullar altında rezervuardan alınan maksimum su miktarının seviyesine normal su seviyesi denir. Bu seviyeye maksimum depolanan su seviyesi de denir (Mays and Tung 1992).

b) Minimum su seviyesi

Normal işletme seviyesinde en düşük seviyeye minimum su seviyesi denir. Bu seviye altında hazneden dip savak ile su alınamaz (Mays and Tung 1992).

c) Maksimum su seviyesi

Muhtemel en büyük taşkın olasılığı ile hesaplanan taşkın miktarını karşılayan seviyeye maksimum su seviyesi denir (Mays and Tung 1992).



Şekil 1.1 Haznedeki su seviyeleri (Mays and Tung 1992)

Minimum su seviyesi altındaki katı materyalleri biriktirmek için ayrılan hacme, ölü hacim denir. Bu bölge sediment kontrolü ve rekreasyon amaçları için dikkate alınır. Bu hacim işletme amaçlarına uygun olarak havza özelliklerine dayanarak hesaplanır (Mays and Tung 1992).

Normal ve minimum su seviyesi aralığında yer alan bölgeye aktif kapasite hacmi denir. Akarsu akımının düzenlenmesinde ve araziye verilecek suyun biriktirildiği bölge olarak tanımlanan bu bölge işletme açısından en önemli kapasitedir. Bu kapasitenin tüm talepleri karşılayacak şekilde minimuma indirgenmesi gerekir (Mays and Tung 1992).

Normal ve maksimum su seviyeleri arasında olan hacme taşkın kontrol hacmi denir. Bu hacim, taşkın sırasında mansapta olabilecek kayıp ve zararları minimize etmek amacı ile kullanılır (Mays and Tung 1992).

Hazneden çeşitli amaçlar için değişik zamanlarda belirli kurallara göre bırakılacak su miktarlarının belirlenmesine rezervuar işletmesi denir. Savaklanan su miktarı kontrol altında olmadığından buraya dahil edilemez. Bazı yöntemlerde bırakılan su miktarı ortalama akım miktarının belli bir yüzdesi kabul edilir (örneğin ortalama yıllık akım miktarının %60'ı gibi). Yıl içinde her ayda belirli miktarda su bırakma işlemine ise

işletme kuralı denir. Böylece zaman açısından iki tür işletme söz konusu olabilir. Eğer zaman dilimleri küçükse (günlük veya saatlik) kısa süreli işletme söz konusu olacaktır. Bu tip işletmeye günlük işletme de denir. Büyük ve önemli projelerde kısa zaman içerisinde alınacak su miktarını belirlemek işletme yönetiminde önemli rol oynamaktadır. Eğer işletme süresi aylık, mevsimlik veya yıllık olursa uzun süreli işletmeler söz konusu olacaktır (Loucks and Beek 2005).

Çoğunlukla ABD'de kullanılan emniyetle alınan su miktarı parametresi, dolu olan rezervuarı minimum su seviyesine ulaştıran ve özellikle kurak yıllarda kritik dönemlerde alınan su miktarıdır.

1.2.2 Hazneden talepleri karşılayacak su miktarının analizi

Bir rezervuar projesinde depolanan-alınan su ilişkilerinin belirlenmesi hidrolojide ve işletme konusundaki önemli analizlerden birisidir. Rezervuar planlamasından dikkate alınması gereken iki temel sorun vardır. Bunlar:

- 1) Rezervuarda belli bir çıktı veya talebi karşılayacak su miktarı için depolanması gereken suyun hesaplanması,
- 2) Rezervuardan alınacak su miktarının hesaplanması.

Birinci soru projenin planlamasının ilk aşamalarında söz konusu olup cevabı burada aranır. İkincisi ise işletme sürecindeki izleme sırasında gelecekteki durumu değerlendirmek ve uygun işletme politikası yürütmek için belirlenir.

Bir projede üç önemli faktörü göz önüne alarak çalışma teknikleri belirtilebilir. Bunlar:

- o Çalışma ihtiyaçları,
- o Gereken dikkat ve
- o Verilerin elverişli olup olmaması.

Küçük ve daha az önem taşıyan projelerde basit analizlerden yararlanmak mümkün olabilir. Ancak büyük ve karmaşık projelerde geniş kapsamda optimizasyon ve simülasyon tekniklerinden yararlanmak zorunludur (Mays and Tung 1992).

1.3 Rezervuar İşletmesi Çalışmalarında Matematiksel Programlama

Geniş anlamda, optimizasyon; insan yargısı, simülasyon veya optimizasyon modellerinin kullanımını ve diğer karar destekli araçları içermektedir. Nitekim optimizasyon terimi matematiksel programlamayla eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Bu matematiksel programlama bir anlamda matematiksel formülasyonla kısıtları dikkate alacak bir şekilde amaç fonksiyonunu minimize veya maksimize eden karar değişkenlerini hesaplar. Optimizasyon modelleri otomatik olarak optimum karar değişkenleri miktarlarını arar (Wurbs 2005).

Bir simülasyon modeli, belirli koşullar altında sistemin davranışlarını tahmin eder. Rezervuar simülasyonunda kullanılan bilgisayar modelleri belirli hidrolojik girdiler ve işletme kurallarına göre rezervuarın performansını belirler. Simülasyon, değişik koşullar altında sistemin analiz ve performansını değerlendiren bir süreçtir. Rezervuar simülasyon modelinin defalarca çalıştırılması ile alternatif işletme planlarına ve depolama kapasitelerine göre rezervuar performansları değerlendirilmiş olur. Simülasyon modelleri hem matematiksel programlamalı olarak ve hem matematiksel olmayan programlamalarla kurulabilir (Wurbs 2005).

Aynı zamanda optimizasyon ve simülasyon modelleri farklı karakteristiklerle alternatif modelleme teknikleridir. Birçok modelde her iki algoritmanın elementleri kullanılır. Dolayısıyla optimizasyon ve simülasyon modellerinin ayırt edilmesi çok zor olabilir. Tüm optimizasyon modelleri sistemi simüle edebilir. Bir optimizasyon yöntemi, bir simülasyon modelinin çoklu olası derecelerde tekrarlanma çalıştırılmasını kapsayabilir. Matematiksel programlama algoritmaları belli hesaplamaları iyileştirmek amacı ile çoklu Rezervuar/Akarsu sistemleri modellerini içine alabilir. Alternatif simülasyon modelleri aynı davranışı gerektiren belli hesaplamaları iyileştirmeyi ve diğerlerini yok sayan optimizasyon algoritmalarını kapsar (Wurbs 2005).

Optimizasyon modelinde amaç fonksiyonu bir hata veya nispi önceliğe dayalı kullanılan işletme kuralları fonksiyonu veya matematiksel bir ifade ile amaçlanmış planlamayı gösteren bir fonksiyon olabilir. Örneğin aşağıda su yönetimi gerekçesinde tanımlanan

ve literatürde yer alan amaç fonksiyonları çeşitli Rezervuar/Akarsu sistemlerinin analizlerinin modellenmesinde kullanılmıştır (Wurbs 2005).

1) Ekonomik faydalar ve maliyetler

- Su temini veya hidroelektrik gücünden elde edilen gelirin maksimizasyonu
- Birleştirilmiş hidro/termal sisteminden taahhüt esasında (sözleşmeye göre) temin edilen elektrik güç maliyetinin minimize edilmesi
- Su kısıtlılığından meydana gelen zararların minimize edilmesi
- Su dağıtım sistemlerinde pompaj için kullanılan elektrik maliyetinin minimize edilmesi
- Taşkın olayında meydana gelen zarar ve hasarların minimize edilmesi
- Çok amaçlı işletmeden elde edilen net karın maksimizasyonu
- Çok amaçlı işletmede maliyetin minimize edilmesi

2) Su elde edebilirliği ve güvenirliliği

- Güvenilir alınan su miktarının (belli bir güvenirlilikte alınan su miktarı veya belli talep miktarlarının güvenirliliği) maksimizasyonu
- Su açığı frekansının ve/veya hacmin minimize edilmesi
- Su açığı indeksinin (istenilen talep miktarı ile bırakılan su miktarları arasında olan sapmaların karelerini toplamı gibi) minimize edilmesi
- Su açığı indekslerinin ağırlıklı toplamının minimize edilmesi
- Minimum giren akımlardan, alınacak suların maksimizasyonu
- Optimizasyon düzeyi sonunda rezervuarda depolanan su miktarının maksimizasyonu
- Savaklanan su miktarlarının minimize edilmesi
- Buharlaşma kayıplarının minimize edilmesi
- Ortalama aylık depolanan su miktarındaki düzensizliğin minimize edilmesi
- Gemicilik sezonu uzunluğunun maksimizasyonu
- Minimum gemicilik ihtiyaçları için toplam bırakılan su miktarlarının minimize edilmesi

3) Hidroelektrik güç üretimi

- Güvenilir enerjinin maksimizasyonu

- Ortalama yıllık gücün maksimizasyonu
- Güç açığı veya güç açığı indeksinin minimize edilmesi
- Sistemde depo edilmiş su miktarının potansiyel gücünün maksimizasyonu (Wurbs 2005).

Karar alma sürecinde önemli olan, zamanında ve doğru bir biçimde gerçek amaçları yansıtan ve anlamlı bilgiler veren amaç fonksiyonunun ihtiyaçlar doğrultusunda hazırlanmasıdır. Bu konu, sistem analizi araçlarının pratik kullanımına yardım eden ve özellikle optimizasyon modellerinin işletilmesinde dikkat edilmesi gereken temel konudur. Modelin yararlı olup olmaması modelin anlamlı bir biçimde gerçekteki karmaşıklıkların matematiksel denklemlerle ifade edilip edilmemesine bağlıdır. Gerekli basitleştirmeler ve varsayımlar modelin kullanımını kısıtlar. Planlama amaçları kesin ve anlaşılabilir biçimde ifade edilse bile, planlamanın tüm amaçlarını kapsayan bir amaç fonksiyonunun modelle birleştirilmesi mümkün olmayacaktır. Çünkü tipik olarak böyle bir durum olamaz. Buna rağmen hala modeller değerli analiz araçlarıdır. Bir model başarı ile değerlendirme sürecinde iştirak edebilir ama tüm sistemi ve onun elemanları arasında olan ilişkileri ayrıntılı biçimde anlatamaz. Kriter veya amaç fonksiyonu planlama amaçlarını en iyi kapsayabilen alternatif planların önemli bilgilerini basit şekilde indeksleyebilir. Modelin, alternatif amaçlar ve karar kriterlerine göre tatbik edilmesi sistemin çeşitli yüzünü tanımakta yardımcı olur. Rezervuar/Akarsu sistemleri analizi çalışmalarında farklı amaçlar olmasına rağmen, optimizasyon modeli normalde sadece bir amaç fonksiyonu içerebilir. Örneğin birimler aynı olursa o zaman çok amaçlı amaç fonksiyonları tek bir fonksiyon halinde birleştirilebilir. Ancak genelde çeşitli amaçların aynı birimi olmayabilir. Su kaynakları sistemleri çalışmalarında, çok amaçlı karar teknikleri raporlarında, amaçlar arasında vazgeçme analizleri yapılabilir (Jain and Singh 2003, Revelle *et al.* 2004).

Amaç fonksiyonunda sadece bir amaç olabilir. Diğer amaçlar ise istenilen belli düzeylerde kısıt olarak optimizasyon modeline alınabilir. Örneğin bir rezervuar işletme politikası; 1) güvenilir miktarda içme ve kullanma suyu teminin maksimizasyonu, 2) güvenilir hidroelektrik gücün maksimizasyonu, 3) ortalama yıllık gücün maksimizasyonu olarak ifade edilebilir. Bu tür koşullarda; amaç fonksiyonu, yıllık

ortalama güç miktarının maksimizasyonu ve kullanıcının isteği esasında güvenilir içme ve kullanma suyu ile güvenilir dengeli güç miktarı kısıt olarak alınabilir. Modelin defalarca çalıştırılması ile amaç fonksiyonu, kullanıcı tarafından istenilen güvenilir su miktarı ve güvenilir güç miktarında olan değişimlerin ortalama yıllık güç miktarı üzerindeki etkilerini değerlendirilebilir. Değişik proje uygulamalarda amaç fonksiyonlarındaki öncelik değiştirilebilir. Yüksek öncelik taşıyan amaçlar diğerlerine göre daha önemlidir. Çok amaçlı optimizasyon stratejisi öncelikleri esasında bir sürü modellerin amaçlarını optimize edecek şekilde tatbik edilme programlamasına hedef programlama denir (Goal Programming). Her bir amaç daha yüksek öncelikli amaçlardan hiç biri ters etkilenmesin diye, bağlı kısıtla optimize edilir. Uygun olmayan amaçlar arasında vazgeçme analizi için diğer bir alternatif yaklaşım, amaç fonksiyonunun ağırlıklı bileşeni olarak her amaç için işlem yapmayı içerir. Amaç fonksiyonu amacın nispi önemini yansıtan ağırlıklı bir faktör ile çarpılan her bileşenin toplamıdır. Model defalarca değişik ağırlık faktörleri ile alternatif planlara göre bir amaçtan diğerine göre vazgeçme analizleri için çalıştırılabilir (Wurbs 2005).

Birçok su kaynakları mühendisliği probleminde matematiksel programlama yöntemi kullanılmaktadır. Doğrusal programlama ise en başarılı ve sıklıkla başvuru olan matematiksel programlama yöntemidir. Bütün mühendislik dallarında bu yöntemin popüler olma nedeni yöntemin kullanışlı olması ve bilgisayar ortamında çeşitli yazılımların bulunmasıdır. Doğrusal Programlama modelinin genel formu aşağıdaki eşitliklerle ifade edilmektedir (Wurbs 2005).

$$\text{Amaç fonksiyonu:} \quad \text{Minimize veya Maksimize } x_o = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1.1)$$

$$\text{Kısıtlar:} \quad \sum a_{ij} x_j \leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.2)$$

$$\text{ve} \quad x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.3)$$

Eşitlikte x_o amaç fonksiyonu, x_j karar değişkenleri, c_j , a_{ij} , ve b_i sabitler, n karar değişken sayısı ve m kısıt sayısıdır. Eşitliklerde bulunan “küçük ya eşit”, “büyük ya eşit” veya “eşit” işaretleri özel problem modellemesi için değiştirilebilir. $-x_o$ amaç fonksiyonun maksimum edilmesi diğer bir deyişle x_o amaç fonksiyonun minimum edilmesi demektir. Amaç fonksiyonu ve tüm kısıtlar karar değişkenlerinin doğrusal

fonksiyonlarıdır. N sayılı değişken için alınan değerler setine karar politikası denir (Wurbs 2005).

Bir problemin matematiksel olarak formüle edilmesinde yetenek ve anlamlı yaklaşımlar gerekmektedir. Böylece problem uygun biçimde formüle edilebilirse, standart doğrusal programlama algoritmaları ve mevcut yazılımlarla problem çözülmüş olur. Birçok kaynakta detaylı çözüm teknikleri verilmiştir (Wurbs 2005).

Basit örneklerde az sayıda karar değişkeni ve kısıt olmasına rağmen, gerçek su kaynakları yönetimi çalışmalarında binlerce karar değişkeni ve kısıt bulunabilmektedir. Genelleştirilmiş birçok Rezervuar/Akarsu sistemlerindeki simülasyon modeli, doğrusal programlama formülasyonuna dayalıdır. Bugüne kadar rezervuar çalışmalarında doğrusal programlamaya dayalı birçok çalışma yapılmış ve önemli modeller de sunulmuştur. Örneğin HEC-PRM (Prescriptive Reservoir Model) gibi doğrusal programlama modellerinde tüm zaman dilimleri eşzamanlı aralıklarla dikkate alınır. HEC-PRM doğrusal olmayan ekonomik fayda-masraf fonksiyonları için amaç fonksiyonunun tahmininde ayrılabilir programlama metodunu ve amaç fonksiyonunu parça-parça doğrularla ifade eden terimleri içermektedir. Sunulan bu tür modeller genelde özel bir bölge ve özel bir probleme ait olduğundan dolayı her yerde kullanılamaz. Dolayısı ile her bir sisteme özgü çalışmaların yapılması gerekmektedir (Wurbs 2005).

1.4 Veri Madenciliği

Bilgisayar sistemlerinin maliyeti her geçen gün hem daha ucuzlamakta hem de becerileri artmaktadır. Artık bilgisayarlar daha büyük miktardaki veriyi saklayabilmekte ve daha kısa sürede işleyebilmektedir. Bunun yanında bilgisayar ağlarındaki ilerleme ile bu veriye başka bilgisayarlardan da hızla ulaşabilmektedir. Bilgisayarların hayatın her alanına girmesi ile sayısal teknoloji daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Veri doğrudan sayısal olarak toplanmakta ve saklanmaktadır. Bunun sonucu olarak da detaylı ve doğru bilgiye ulaşabilmektedir. Veri tek başına anlamsız olabilmektedir. Bilgi ise bir amaca yönelik işlenmiş veridir. Veriyi bilgiye çevirmeye veri analizi denir. Veri sadece sayılar

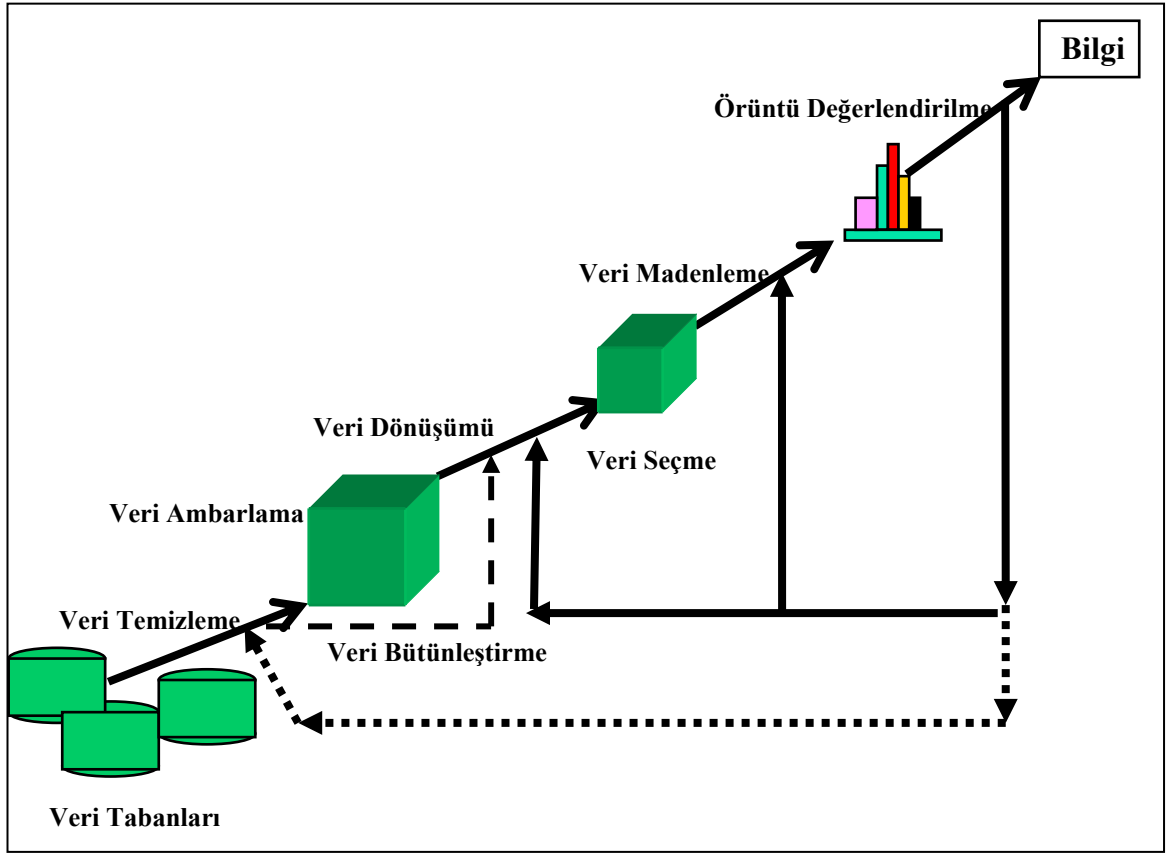
veya harfler değildir. Veri, sayı ve harfler ile onların anlamıdır. Veri hakkındaki bu bilgiler metaveri (verileri tanımlayan kavramların toplamı) olarak adlandırılır. Basit bir tanımlama yapmak gerekir ise veri madenciliği, büyük ölçekli veriler arasından bilgiye ulaşma, bilgiyi madenleme işidir. Veri madenciliği deyimi yanlış kullanılan bir deyim olabileceğinden buna eş değer başka kullanımlar da literatüre geçmiştir. Bu tanımlar içinde veri tabanlarında bilgi madenciliği, bilgi çıkarımı, veri ve örüntü analizi, veri arkeolojisi gibi tanımlar da kullanılmaktadır. Alternatif olarak veri madenciliği aslında bilgi keşfi sürecinin bir parçası şeklinde kabul görmektedir. Veri madenciliği çalışmalarında genel aşamalar aşağıda verilmiştir (Han and Kamber 2006).

- 1- Veri Temizleme (Hatalı ve tutarsız verilerin çıkarılması),
- 2- Veri Bütünleştirme (Birçok veri kaynağının birleştirilmesi),
- 3- Veri Seçme (Yapılacak olan analiz ile ilgili olan verilerin belirlenmesi),
- 4- Veri Dönüşümü (Verinin, veri madenciliği tekniğinde kullanılacak hale dönüşümü),
- 5- Veri Madenleme (Veri örüntülerini yakalayabilmek için akıllı metotların uygulanması),
- 6- Örüntü Değerlendirme (Bazı ölçümlere göre elde edilmiş bilgiyi temsil eden ilginç örüntülerin tanımlanması) ve
- 7- Bilgi Sunumu (Elde edilmiş bilginin kullanıcıya sunumu) şeklindedir.

Veri madenciliği kullanıcı ve bilgi tabanı ile etkileşim halindedir. Veri madenciliği işlemi, gizli kalmış örüntüler bulununcaya kadar devam eder. Elde edilen ilginç örüntüler kullanıcıya gösterilir ve bunun yanı sıra istenir ise bilgi tabanına da kaydedilebilir. Veri madenciliğinin temel bileşenleri; veri tabanı, veri ambarı ve diğer depolama teknikleri, veri tabanı ya da veri ambarı sunucusu, bilgi tabanı, veri madenleme motoru, örüntü değerlendirme ve kullanıcı ara yüzüdür (Kantardzic 2002).

Veri madenciliği, eldeki verilerden üstü kapalı, çok net olmayan, önceden bilinmeyen, ancak potansiyel olarak kullanışlı bilginin çıkarılmasıdır. Bu ise; kümeleme, veri özetleme, değişikliklerin analizi, sapmaların tespiti gibi belirli sayıda teknik yaklaşımları içerir. Başka bir deyişle, veri madenciliği, verilerin içerisindeki desenlerin, ilişkilerin, değişimlerin, düzensizliklerin, kuralların ve istatistiksel olarak önemli olan yapıların yarı otomatik olarak keşfedilmesidir. Veriler arasındaki ilişkiyi, kuralları ve

özellikleri belirlemekten bilgisayar sorumludur. Amaç, daha önceden fark edilmemiş veri desenlerini tespit edebilmektir. Veri madenciliğini istatistiksel bir yöntemler serisi olarak görmek de mümkün olabilir. Ancak veri madenciliği, geleneksel istatistikten birkaç yönde farklılık gösterir. Veri madenciliğinde amaç, kolaylıkla mantıksal kurallara ya da görsel sunumlara çevrilebilecek nitel modellerin çıkarılmasıdır. Bu bağlamda, veri madenciliği insan merkezli olup bazen insan – bilgisayar ara yüzü birleştirilir. Veri madenciliği aşamaları şematik olarak şekil 1.2’ de verilmiştir.



Şekil 1.2 Veri madenciliği aşamaları (Han and Kamber 2006)

Şekil 1.2’de görüldüğü gibi veri madenciliğinde veri tabanları oluşturulduktan sonra veri temizleme aşamasına geçilir. Elde edilen veriler ambarlanır, çalışma amacına uygun dönüşümler yapılır ve uygun veriler seçilir. Seçilen verilere veri madenciliği yöntemleri uygulanır. Elde edilen sonuçlar çizelge veya grafikler halinde gösterilir. Bu sonuçlardan yararlanılarak örüntü değerlendirilmesi ile bilgiye ulaşılır. Bu aşamalar arasında bir aşamadan diğer aşamaya geri dönüşler yapılabilir. Şekil 1.2’ de verilen sürekli ve kesikli oklar aşamalar arasında geçiş yapılabilirliğini göstermektedir.

1.4.1 Veri madenciliği modelleri

Veri madenciliğinde çeşitli modeller mevcuttur. Tahmin edici modellerde (predictive); sonuçları bilinen verilerden hareket edilerek bir model geliştirilmesi ve kurulan bu modelden yararlanılarak sonuçları bilinmeyen veri kümeleri için sonuç değerlerinin tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Tanımlayıcı modellerde (descriptive) ise karar vermeye rehberlik etmekte kullanılabilecek mevcut verilerdeki örüntülerin tanımlanması sağlanmaktadır (Kantardzic 2002).

Veri madenciliğinde yaygın olarak kullanılan belli başlı istatistiksel yöntemleri altı ana başlık altında incelemek mümkündür (Han and Kamber 2006).

- a) Sınıflama ve Tahmin (Classification and Prediction)
- b) Kümeleme (Clustering)
- c) Birliktelik Kuralları (Association Rules) ve Ardışık Zamanlı Örüntüler (Sequential Patterns)
- d) Bellek Tabanlı Yöntemler (Memory-based methods)
- e) Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)
- f) Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)
- g) Karar Ağaçları (Decision Trees)

1.4.1.1 Sınıflama ve tahmin

Mevcut verilerden hareket ederek gelecekteki verilerin tahmin edilmesinde faydalanan ve veri madenciliği teknikleri içerisinde en yaygın kullanıma sahip olan modelin temel özelliği, tahmin edilen bağımlı değişkenin kategorik veya süreklilik gösteren bir değere sahip olmasıdır. Ancak çok terimli lojistik regresyon (multinomial logistic regression) gibi kategorik değerlerin de tahmin edilmesine olanak sağlayan tekniklerle, her iki

model giderek birbirine yaklaşmakta ve bunun bir sonucu olarak aynı tekniklerden yararlanılması mümkün olmaktadır. Sınıflama ve tahmin modellerinde kullanılan başlıca teknikler arasında; Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms), K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbor), Naïve-Bayes, Çoklu Regresyon, Lojistik Regresyon (Logistic Regression) ve Faktör ve Ayırma analizleri (factor and discriminant) sıralanmıştır (Han and Kamber 2006).

Veri madenciliği çalışmalarında sınıflama ve tahmin yapma çeşitli yöntemleri ve farklı aşamaları içermektedir. Sınıflama kesikli ya nominal kategorikli sınıf etiketlerin tahmin eder yada eğitilmiş veriler ve etiket sınıflarına dayalı verileri sınıflandırır. Bu sınıflama için bir model inşa edilir ve elde edilen modelden yararlanarak yeni verilerin sınıflaması yapılır. Tahmin (prediction) ise sürekli değerleri içeren fonksiyon modellerinde belirsiz veya kayıp olan verileri tahmin eder. Tahmin; kredi tahsisi, pazarlama, hastalık teşhisi, dolandırıcılık keşfi vs gibi tipik uygulamalarda kullanılabilmektedir (Han and Kamber 2006).

Sınıflama ve tahmin; 1) model inşası ve 2) inşa edilmiş modelin testi ve tahmin amaçlı kullanımı olarak iki aşamalı bir süreçtir.

Model inşası, önceden belirlenmiş sınıflamaya göre bir setin tanımlamasına denir.

Model inşasında yapılan işlemler:

1. Sınıf etiketi özellikleri ile her bir veri seti önceden belirlenmiş sınıflara ayrılır.
2. Veri seti eğitilerek model inşa edilmede kullanılır.
3. İnşa edilen model; sınıflama kuralları, karar ağaçları ya da matematiksel modellerle ifade edilir.

Sınıflama ve tahmin sürecinin ikinci aşamasında inşa edilen model test edilerek, gelecek veya belli olmayan nesnelerin sınıflamasında kullanılır. Modelin testi ve tahmin amaçlı kullanımında üç önemli işlem yapılmaktadır.

1. Test örneğinde belirlenmiş sınıf etiketi ile modelden elde edilmiş sınıflama sonuçları karşılaştırılır.
2. Model doğruluk testi yapılır. Bu doğruluk düzeyi test örneklerinin model tarafından doğru sınıflanması yüzdesidir.

3. Test seti eğitim setinden bağımsızdır, aksi halde örtüşme söz konusu olur.

Eğer test sonucunda doğruluk oranı kabul edilecek düzeydeyse, model kabul edilir ve etiket sınıfları belirlenmemiş veri setinin sınıflanmasında ve gelecek verilerin tahmininde kullanılır.

Sınıflama metotlarının değerlendirilmesi ve uygun modelin seçiminde aşağıda belirtilen faktörler dikkate alınmalıdır (Han and Kamber 2006).

- Doğruluk (Accuracy)
 1. Sınıflayıcının doğruluğu: sınıf etiketinin tahmini
 2. Tahmin edicinin doğruluğu: tahmin edilmiş özelliklerden değerlerin kestirmesi
- Hız (Speed)
 1. Modelin inşası için ayrılan zaman (eğitim zamanı)
 2. Modelin kullanım zamanı (sınıflama/tahmin etme zamanı)
- Sağlamlık (Robustness): hata ve eksik olan verilerin işleme (çözümü)
- Ölçeklenebilirlik (Scalability): disk üzerinde olan veri ambarlarının verimi
- Yorumlanabilirlik (Interpretability)
 1. Modelden elde edilen sonuçların açıklığı ve anlaşılabilirliği
- Diğer ölçümler, örneğin; kuralların iyiliği, karar ağaçları veya kurallar setinin boyutu.

1.4.1.2 Kümeleme modelleri

Kümeleme modellerinde esas, elemanlarının birbirlerine çok benzediği, ancak özellikleri birbirlerinden çok farklı olan kümelerin bulunması ve veri tabanındaki kayıtların bu farklı kümelere bölünmesidir. Kümeleme analizinde; veri tabanındaki kayıtların hangi kümelere ayrılacağı veya kümelemenin hangi değişken özelliklerine göre yapılacağı konunun uzmanı olan bir kişi tarafından belirtilebileceği gibi veri tabanındaki kayıtların hangi kümelere ayrılacağını gelişmiş bilgisayar programları da belirleyebilmektedir (Kantardzic 2002).

1.4.1.3 Birliktelik kuralları ve ardışık zamanlı örüntüler

Bir kuraklık çalışmasında birbirini izleyen ve kuraklığın meydana gelmesinde etkili olan meteorolojik faktörlerin tanımlanmasını veya bir sulama amaçlı rezervuardan bırakılacak su miktarının hangi kurallara bağlı olduğunu tespit etmekte kullanılabilir. Bununla birlikte bu teknikler, tıp, finans ve farklı olayların birbirleri ile ilişkili olduğunun belirlenmesi sonucunda bilgi kazanımının söz konusu olduğu ortamlarda da önem taşımaktadır (Kantardzic 2002).

1.4.1.4 Bellek tabanlı yöntemler

Bellek tabanlı veya örnek tabanlı bu yöntemler istatistikte 1950’li yıllarda önerilmiş olmasına rağmen o yıllarda gerektirdiği hesaplama ve kapasite yetersizliği yüzünden kullanılamamış ama günümüzde bilgisayarların ucuzlaması ve kapasitelerinin artmasıyla, özellikle de çok işlemcili sistemlerin yaygınlaşmasıyla, kullanılabilir olmuştur. Bu yöneme en iyi örnek en yakın K komşu algoritmasıdır (Kantardzic 2002).

1.4.1.5 Yapay sinir ağları (YSA)

Özellikle 1980’lerden sonra yaygınlaşan yapay sinir ağlarında (artificial neural networks) amaç fonksiyonu birbirine bağlı basit işlemci ünitelerinden oluşan bir ağ üzerine dağıtılmıştır. Yapay sinir ağlarında kullanılan öğrenme algoritmaları, veriden üniteler arasındaki bağlantı ağırlıklarını hesaplar. YSA istatistiksel yöntemler gibi veri hakkında parametrik bir model varsaymaz. Uygulama alanı daha geniştir ve bellek tabanlı yöntemler kadar yüksek işlem ve bellek gerektirmez (Kantardzic 2002).

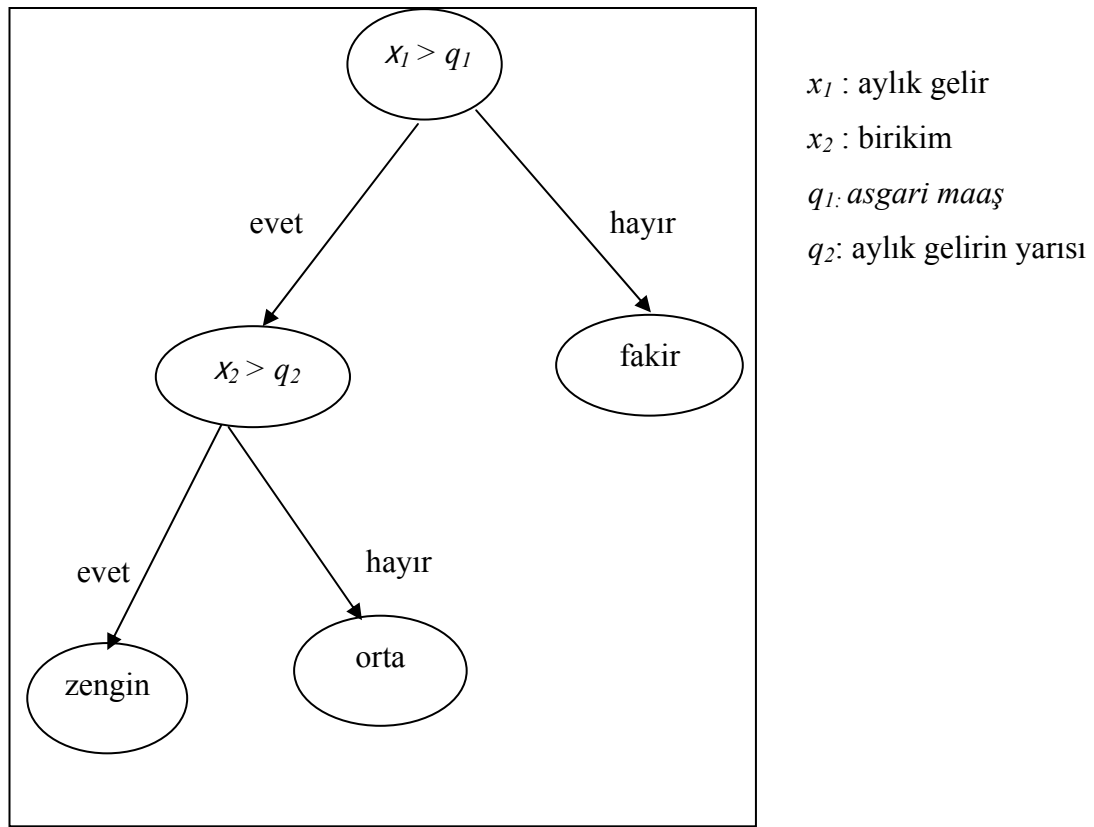
1.4.1.6 Bulanık mantığı

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Azerbaycan’lı Türk kökenli Prof. Lotfi A. Zadeh’in bu konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla duyuldu (Zadeh 1965). O tarihten sonra önemi gittikçe artarak günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanabilir. Bilindiği gibi istatistikte ve olasılık kuramında, belirsizliklerle değil kesinliklerle çalışılır. Ama insanın yaşadığı ortam daha çok belirsizliklerle doludur. Bu yüzden insanoğlunun sonuç

çıkarabilme yeteneğini anlayabilmek için belirsizliklerle çalışmak gereklidir (Kantardzic 2002).

1.4.1.7 Karar ağaçları

Bir tahmin modeli olan karar ağaçları yöntemi kümeleme amacı için sıklıkla kullanılmaktadır. Yukarıdan aşağıya veri eğitimi sürecinde, genelden özele doğru bu ağaçlar oluşturulur (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Örnek karar ağacı

1.5 Çalışmanın Amaçları

Çalışmanın amaçları aşağıda sıralanmıştır.

1. Eleviyan rezervuarında barajın inşasından önceki 21 yıllık (Ekim 1973 ile Eylül 1994) akım verilerine göre doğrusal programlama yöntemi ile optimum işletme planının belirlenmesidir. Burada amaç rezervuarın planlama aşamasında belirlenen işletme

parametrelerinin (bırakılması gereken su miktarının) optimum işletme planındaki parametrelerle karşılaştırılmasıdır.

2. Eleviyan rezervuarında barajın inşasından önceki 21 yıllık (Ekim 1973 ile Eylül 1994) akım verilerine dayalı Monte Carlo simülasyonu yöntemi ile yapay akımların türetilmesi ve türetilen akımlara göre doğrusal programlama yöntemi ile optimum işletme planının belirlenmesidir. Burada yapılacak işlem öncelikle inşaat öncesi ölçülmüş ve türetilmiş akımlara göre belirlenmiş optimum işletme parametrelerinin karşılaştırılmasıdır. Ayrıca türetilmiş akımlara göre belirtilen optimum işletme parametreleri verilerinin veri madenciliğinde kullanılmasıdır.

3. Eleviyan rezervuarının işletmeye açıldıktan sonraki 10 yıllık (Ekim 1997 ile Eylül 2007) veriye dayalı doğrusal programlama yöntemi ile optimum işletme planının belirlenmesidir.

4. Rezervuar inşası öncesi ölçülmüş ve türetilmiş akım verilerine göre hesaplanmış optimum işletme parametrelerine ait verilerle, veri madenciliği teknikleri içine giren karar ağacı ve Quinlan (1993) tarafından geliştirilen C5.0 algoritması yardımı ile Eleviyan sulama amaçlı rezervuarda işletme kurallarının eğer-ise biçiminde belirlenmesidir.

5. Baraj inşası sonrasındaki rezervuar işletmecileri tarafından ölçülmüş girdi-çıkış akım verileri ve ölçülmüş akım verilerine göre hesaplanmış optimum işletme parametrelerine ait verilerle, veri madenciliği teknikleri içine giren karar ağacı ve Quinlan (1993) tarafından geliştirilen C5.0 algoritması yardımı ile Eleviyan sulama amaçlı rezervuarda işletme kurallarının eğer-ise biçiminde belirlenmesidir.

6. Rezervuar inşası öncesindeki ve sonrasındaki belirlenmiş bütün işletme kurallarının değerlendirilmesidir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Oğuz and Bayazit (1991), yaptıkları çalışmada, rezervuarda olan kritik dönemlerin modellenmesi amacı ile yıllık akımların yoğunluk olasılık fonksiyonun normal ve lognormal dağılımları üzerinde durmuş ve Monte Carlo simülasyonu ile kritik dönemleri değerlendirmişlerdir.

Bayazit and Bulu (1991), rezervuar kapasitesinin belirlenmesi amacı ile hazneye giren rasgele akımların olasılık dağılımlarını bulduktan sonra Monte Carlo yöntemi ile yapay akım verilerini türeterek rezervuarın kapasitesini belirlemişlerdir.

Shrestha *et al.* (1996), Amerika Birleşik Devletleri'nin Oklahoma eyaletinde bulunan Tenkiller haznesi üzerinde bulanık teorisini kullanarak eğer-ise biçiminde işletme kurallarını belirlemişlerdir.

Liang *et al.* (1996), Kolorado'da yaptıkları çalışmada önce AR (1) ile akımları tahmin etmişler ve sonra dinamik programlamayla optimum işletme kurallarını belirlemişlerdir.

Üneş (1996), tarafından yapılan tez çalışmasında materyal olarak Aşağı Seyhan Havzası alınmış ve ihtimal kısıtlı doğrusal programlama yöntemi ile geliştirilen Turbo Paskal programı ile havzada mevcut ve planlanmış altı baraj (Seyhan, Çatalan, Yedigözü, Köprü, Menge ve Göktaş) üzerinde uygulanarak baraj hacimleri ve işletme politikaları belirlenmiştir.

Nandakumar and Mein (1997), hidrolojik ve meteorolojik verilerinden kaynaklanan hataya göre yağış-akım tahmin modellerinin belirsizlik düzeyinin miktarını belirlemişlerdir. Model uygunluğunu değerlendirmek için Monte Carlo simülasyon yöntemine başvurmuşlardır.

Merzi *et al.* (1997), tarafından çalışmada DAMBRK yazılımı ile çeşitli senaryolarla Aslantaş barajının yıkılma riskini değerlendirmişlerdir.

Yurtal (1997), Seyhan havzasında bulunan barajlar üzerinde doğrusal karar kuralı (LDR) ve şans kısıtlı doğrusal programlama yöntemi üzerinde hazırladığı yazılım ile rezervuarın optimum kapasitesini hesaplamış ve işletme kurallarını belirlemiştir.

Jain *et al.* (1998), tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'ın Ahmadabad ilinde bulunan çok amaçlı 4 rezervuar ve 3 saptırma noktası olan Sabramati sistemini ele alarak bütün rezervuarlara ait sulama, içme ve kullanma, sanayi, hidroelektrik ve taşkın kontrolü amaçlarına göre işletme kuralları saptanmıştır. Geliştirilen program yardımı ile taşkın sıralarında emniyetli bırakılacak su miktarları da değerlendirilmiştir.

Ravikumar and Venugopal (1998), Hindistan'ın güneyinde bulunan sulama sistemlerinde yaptıkları çalışmada rasgele varsayılan akımlar ve talepler, Markov zinciri kullanılarak türetilmiş ve stokastik dinamik programlamayla optimum bırakılacak su miktarlarını hesaplamışlardır.

Hajilal *et al.* (1998), Hindistan'da sulama kanallarına bağlı haznelerde su temini açığını minimize eden bir dinamik programlamayla optimum bırakılacak su miktarlarını hesaplamışlardır.

Jacobs and Vogel (1998), yaptıkları çalışmada, matematiksel bir programı Excel ortamında çözerek kullanıcılar arasında optimum dağıtılacak su miktarlarını belirlemişlerdir.

Bouchart and Goulter (1998), tarafından yapılan çalışmada Yapay Sinir Ağları yöntemine dayalı geliştirdikleri modelle çeşitli kural ve politikalara göre bırakılacak su miktarlarının olasılıklarını belirlemişlerdir.

Srinivasan *et al.* (1999), tarafından yapılan çalışmada, kritik dönemler sırasında geliştirdikleri tam sayılı doğrusal programlama modeli ile rezervuarın performans indikatörlerini optimize etmişlerdir.

Seytoux (1999), tarafından Fransa'nın Seine havzası üzerinde yapılan çalışmada; çok rezervuarlı sistemde, rezervuardan bırakılacak su miktarından elde edilen gelirin doğrudan bırakılmış su miktarına bağlı olmadığı süreç içinde, amaçları etkileyen mansaptaki kontrol noktalarında optimum işletme belirlenmiştir.

Belaineh *et al.* (1999), ABD'de yaptıkları çalışmada, yer altı ve yerüstü entegre edilmiş su kaynaklarında optimizasyon ve simülasyon modellemesi yaparak sistemin durumunu analiz etmişlerdir.

Sinha *et al.* (1999a), Hindistan'da doğrusal olmayan optimizasyon programlamasıyla çok amaçlı rezervuar sistemlerinde optimum işletmeyi belirlemişlerdir.

Monteseri and Adeloye (1999), Monte-Carlo simülasyonu yardımı ile yıl içi ve yıl dışı rezervuar işletmelerinde kritik dönemleri belirlemişler ve depolanan-bırakılan-güvenirlilik ilişkilerini hesaplamışlardır.

Duranyıldız vd. (1999), yaptıkları çalışmada, bir şans kısıtlı doğrusal programlama ile gerçek zamanlar için aylık optimum rezervuar işletmesini belirlemişlerdir. Araştırmacılar en son olarak bu yöntemden elde edilmiş sonuçları dinamik programlama modeli sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

Jain *et al.* (1999), yapay sinir ağları (YSA) yönteminden akımların tahmini ve hazne işletmesinde yararlanmışlardır.

Lund and Guzman (1999), yaptıkları çalışmada, çok amaçlı çok rezervuarlı paralel ve seri sistemlerde çeşitli dönemler için işletme kurallarını çıkarmışlardır.

Sinha *et al.* (1999b), Hindistan'da kurdukları optimizasyon-simülasyon modeli çerçevesinde sulama ve hidroelektrik amaçlı iki rezervuarı modellemişlerdir. Kurulan model rezervuarların optimum bırakılacak sulama suyu miktarı ve üretilecek optimum

enerji miktarını dikkate alarak hazne hacmini saptamış ve işletme politikasını belirlemişlerdir.

Vogal *et al.* (1999), ABD’de 1000 depolama haznesi üzerinde yaptıkları çalışmada rezervuar işletme indikatörlerini giren akımların aylık veya yıllık sürelerde lognormal yapıya sahip olduğunu varsayarak değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar net akımların değişme katsayısı üzerinden yola çıkarak giren akımların yıllık veya aylık olmasına karar vermişlerdir.

Philbrick and Kitanidis (1999), rezervuar işletme modellenmesinde kullanılan deterministik programlamanın yetersizliği üzerinde durmuş ve olasılıklı optimum yöntemlerinin daha gerçekçi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır.

Duranyıldız vd. (2000), dinamik programlama yöntemini kullanarak İstanbul içme su temini sisteminin optimum işletme politikasını belirlemişlerdir.

Sharif and Wardlaw (2000), Endonezya’da çok rezervuarlı sistemlerde genetik algoritması yöntemini kullanarak optimum bırakılacak su miktarlarını hesaplamışlardır. Çeşitli senaryolarla modeli işleterek sonuçları dinamik programlama optimizasyon modeli sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonunda genetik algoritma ile bulunun yanıtların hemen hemen dinamik programlama yöntemi ile aynı olduğu tespit edilmiştir.

Needham *et al.* (2000) tarafından ABD’de bulunan Iowa ve Des Mines nehirleri üzerinde yapılan çalışmada tam sayılı doğrusal programlama yöntemi kullanılarak 3 rezervuarda taşkın kontrol amacı ile mansapta zararları minimize edecek optimum işletme kurallarını belirlemişlerdir.

Panigrahi and Mujumdar (2000), Hindistan’ın Malaprabha rezervuarında akımların, depolanan su miktarlarının, taleplerin ve bırakılacak su miktarlarının üyelik fonksiyonlarını belirleyerek bulanık mantığı yardımı ile eğer-ise biçiminde işletme kurallarını çıkarmışlardır.

Peng *et al.* (2000), yaptıkları çalışmada, çok rezervuarlı sistemlerde rezervuara giren akımları en önemli hidrolojik değişken olarak almışlardır. Akım ölçmesi yapılmamış akarsu için su bütçesi denklemini kullanarak akımları hesaplamışlardır.

Ahmed and Simonovic (2000), Kanada’da bulunan Shellmouth rezervuarında taşkın sezonlarına özgü geliştirdikleri dinamik bir modelle rezervuarın durumunu değerlendirip simülasyon yaparak savaklanan su miktarını analiz etmişler ve işletme kurallarını çıkarmışlardır.

Bayazit and Onoz (2000), yaptıkları çalışmada 100 yıllık bir işletme periyodu içinde rezervuarın rasgele değişkenlerinin (depolanan su miktarı, bırakılabilen su miktarı vb.) koşullu dağılımlarını Monte-Carlo simülasyon yöntemini kullanarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada işletme süresince, rezervuarın başlangıçta dolu varsayılması nedeniyle işletme parametrelerine ait dağılımları etkilediği görülmüştür. Araştırmacılar N yıllık süre içinde rezervuarın başarısızlık indikatörünü hesaplayarak, başlangıçtaki depolanan su miktarının etkisinin sadece regüle edilen su miktarının az olduğunda yok sayılabileceğini belirtmişlerdir.

Velickov and Solomatine (2000), tahmin edici veri madenciliği tekniklerinden olan kümeleme, regresyon, karar ağaçları gibi algoritmaları kısaca anlatarak hidrometeorolojik veriler üzerinde uygulanan bazı örnekler vermiştir.

Işık (2001), tarafından yapılan tez çalışmasında, standart işletme kuralları kullanılmış ve hazne giriş akımları aylık olarak verildiğinden, hazne depolama sürekliliği aylık olarak dikkate alınmıştır. Ancak sulama programlaması probleminin özelliğinden dolayı hazneden çekilebilecek su miktarları sulama sezonu boyunca yazılmış sulama programı ile günlük olarak belirlenmiştir. Çalışmada dinamik programlama yöntemi kullanılarak geliştirilen SULAMA modeli çerçevesinde yapılan optimizasyon ile haznedeki su en verimli şekilde işletilmiştir.

Chandramouli and Raman (2001), Hindistan'ın çok rezervuarlı sisteminde optimum bırakılacak su miktarlarının belirleme amacı ile yapay sinir ağına dayalı bir dinamik programlama modeli geliştirmişlerdir.

Sahoo *et al.* (2001), Tayland'da yaptıkları çalışmada optimizasyon modeli yardımı ile büyük sulama sisteminde optimum bitki desenini, su dağıtım planlama kararlarını ve sulama politikalarını geliştirmişlerdir.

Dubrovin *et al.* (2002), tarafından yapılan çalışmada Finlandiya'da çok amaçlı bir rezervuarın gerçek zamanlı işletme kurallarını bulanık teorisi modeli ile belirlemişlerdir.

Lobbrecht and Solomantine (1999), Hollanda'da haznede olan su seviyesini yapay sinir ağları ve bulanık adaptif sistemi ile kontrol etmişlerdir.

Hugo (2002), doğrusal programla yöntemi ile rezervuar göl yüzeyinden buharlaşan su miktarlarını ve göl yüzeyine düşen yağmur miktarlarını dikkate alarak rezervuar işletme parametrelerini belirlemiştir. Sonuçlar rezervuar göl yüzeyinden buharlaşan su miktarlarının ve göl yüzeyine düşen yağmur miktarlarının rezervuar işletmesinde önemli etken olduğunu göstermiştir.

Monteseri and Adeloye (2002), İngiltere ve İran'a ait çok rezervuarlı sistemlerde entegre planlamanın kapasite-çıktı-performans fonksiyonunda bıraktığı etkiyi değerlendirmişlerdir.

Nandalal and Sakthivadivel (2002.), Sri Lanka'da stokastik dinamik programlama optimizasyon yöntemi ile rezervuarın optimum işletme kurallarını belirlemişlerdir.

Teixeira and Marino (2002), yaptıkları çalışmada, rezervuar işletmesi ve sulama programını birleştirerek dinamik programlamayla rezervuarın optimum işletmesini belirlemiş ve sulama programını hazırlamışlardır.

Wurbs (2002), iki kentsel taşkın kontrol amaçlı rezervuarı ele alarak, önce işletme simülasyonu yapmış ve sonra durum-frekans analizi yaparak taşkın sezonlarında kapakların ne zaman ve ne kadar açılması gerektiğini ve savaklanan su miktarlarını tahmin etmiştir.

Hsu and Cheng (2002), Tayvan’da geniş havza bazı su kaynakları planlamasında uzun süreli temin-talep ilişkisinin analizi için geliştirilmiş ağ optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Simülasyon sonucunda modelin kısıt dönemleri için daha uygun çözüme varıldığı tespit edilmiştir.

Rahman *et al.* (2002), yaptıkları çalışmada, yağışların en uygun olasılık dağılımlarını elde ettikten sonra Monte Carlo simülasyonu yöntemi ile dağılımlar üzerinden taşkın frekans eğrilerini çizmişlerdir. Yağış verilerinin çok olduğu havzalarda Monte Carlo yönteminin daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Solomatine (2002), yaptığı çalışmada, öncelikle veriye ve fiziğe dayalı modellerin farklarını anlatmış ve sonra çeşitli veri madenciliği teknikleri ve onların su kaynakları kontrolünde olan uygulamalarından genel tanımlar vermiştir.

Tilmant (2002), yaptıkları çalışmada, stokastik dinamik programlama yöntemi ile bulanık stokastik dinamik programlamayı, hidroelektrik ve sulama amaçlı rezervuarı dikkate alarak karşılaştırmışlardır. Simülasyon sonuçlarına göre her iki yöntemin hemen hemen yakın bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Ocak and Bayazit (2003), birim hidrografını ardışık doğrusal rezervuarlardan yararlanarak hesaplamışlardır.

Jairaj and Vedula (2003), Güney Hindistan’da yaptıkları çalışmada topraktaki rutubetle sulama rezervuarındaki hidrolojik parametrelerin rastgele sayılar olmasından dolayı belirli dağılımlara uyduğunu varsayarak, optimum işletme kurallarını çıkarmışlardır.

Waller *et al.* (2003), ekolojik simülasyon modellerinin gözlenmiş veri sonuçları ile uyum sağlayıp sağlamadığını Monte-Carlo yöntemini kullanarak değerlendirmişlerdir.

Solomatine and Dulal (2003), yaptıkları çalışmada, yağış-akış modellemesinde M5 ağaç modeli ile yapay sinir ağları yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada M5 ağaç modelinden elde edilen sonuçların daha anlaşılır olduğu tespit edilmiştir.

Hunag *et al.* (2003), Monte Carlo yöntemi ile homojen olmayan topraklarda iki boyutlu akışı toprağın rasgele parametrelerini dikkate alarak modellemişlerdir.

Coles *et al.* (2003), yaptıkları çalışmada, yıllık maksimum yağış değerlerinin modellenmesinde tamamen bir olasılık yaklaşımından yararlanmışlardır.

Baratti vd. (2003), İtalya'da yaptıkları çalışmada rezervuar işletmesinde dikkat edilmesi gereken çeşitli zaman aşamalarında yağış-akım sürecini yapay sinir ağları yöntemi ile modellemişlerdir. Rezervuara giren ölçülmüş akım değerleri ile modelden elde edilmiş sonuçların uyum sağladığını tespit etmişlerdir.

Mahabir *et al.* (2003), yaptıkları çalışmada, mevsimlik akışların tahmininde bulanık mantığından yararlanmışlardır.

Florian *et al.* (2003), İngiltere'de yaptıkları çalışmada veri madenciliği ile 35 yıllık verisi bulunan Roadford sisteminde genel işletme politikasını belirlemişlerdir. İşletme politikasının belirlenmesi için, tekli ve çoklu rezervuar sistemlerinde doğrusal ağ modeli kullanarak bırakılması gereken optimum su miktarlarını ölçülmüş akım veri seti ile hesaplamışlardır. Ölçülmüş akımlardan elde edilen optimum sonuçları veri madenciliği sürecinin girdisi olarak kullanmışlar ve sonra veri madenciliği algoritması ile kontrol kuralları seti türeterek en iyi işletme kurallarını elde etmişlerdir. Bu çalışmada kullandıkları veri madenciliği yöntemi, 1993 yılında Quinlan tarafından geliştirilmiş (C5.0) algoritmasına dayalıdır. Veri madenciliği yönteminin performansının artırılması için detaylı veri hazırlama aşaması gerekmektedir. Çalışmada taleplerin ay bazında farklı olmasına karşılık, yıl boyunca sabit olduğunu kabul etmişlerdir. Bırakılan su

miktarı sürekli olduğundan talebi karşılama oranı yüzde onluk farklarla kesikli sınıflar haline dönüştürülmüştür. Karar ağaçlarının elde edilmesi için 5 özellik kullanılmıştır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada; 1) giren akım, 2) depolanan su miktarı, 3) toplam (=depolanan su miktarı+giren akım), 4) talep ve 5) ay özelliklerini veri madenciliği modeline dahil etmişlerdir. Denemeler, aylık akımlardaki değişimin ek bir özellik olarak (giren akımların ilk derivasyonunun etkisi öncesi) dikkate alınması halinde karar ağacının etkilemediğini göstermiştir. Veri madenciliği yöntemiyle geliştirilen kuralların geçerliliğinin tespiti için sistemin simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyon sonuçları ile doğrusal regresyondan elde edilmiş işletme kuralları simülasyonu sonuçları karşılaştırılmıştır. Çoklu rezervuar sisteminde farklı yöntemlerle (veri madenciliği, regresyona dayalı kurallar ve İngiltere Çevre Ajansı tarafından geliştirilen yöntem) elde edilen işletme kuralları arasında karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonunda veri madenciliğinden elde edilen işletme kurallarının optimum sonuçlarla hemen hemen aynı olduğu görülmüştür.

Tu *et al.* (2003), Taiwan’da yaptıkları çalışmada, tam sayılı doğrusal programlama kullanarak kurak dönemler için rezervuarın işletme politikasını belirlemişlerdir.

Hickey *et al.* (2003), Kaliforniya’da taşkın kontrolü amacı ile HEC-5 yazılımı ile simülasyon yaparak rezervuar sistemi ve taşkından meydana gelebilecek zararları değerlendirmişlerdir.

Akbulut (2003), tarafından yapılan tez çalışmasında, Ceyhan havzasında Aslantaş barajı ve membasında bulunan 14 adet baraj ile HEC-5 programı kullanılarak bir işletme simülasyonu modeli geliştirilmiştir. Bu modelde tam developmana ulaştıklarında projelerin birbirlerine olan etkileri incelenmiş ve Aslantaş barajının içme ve kullanma suyu, sulama ve enerji üretim kapasiteleri belirlenmiştir.

Suresh and Mujumdar (2004), Hindistan’da yaptıkları çalışmada düşük verimli bitki koşullunda bulanık risk yöntemini kullanarak sulama amaçlı bir rezervuarın performansını değerlendirmişlerdir.

Bhattacharya *et al.* (2004), sediment taşınımı konusunda yaptıkları çalışmada veri madenciliği yöntemlerinden olan yapay sinir ağları ve karar ağacı modeli teknikleri ile akarsu yatak yükü ve toplam sediment yük tahmini yapmışlardır. Elde edilen sonuçları çok tanınmış modellerle karşılaştırmış ve veri madenciliği yönteminin karışık süreçli sediment taşınım çalışmalarında geçerli ve yararlı olduğunu tespit etmiştir.

Srdjevica *et al.* (2005), Brezilya’da yaptıkları çalışmada, veri analizi ve standart çok kriterli metotla rezervuar sisteminin performansını değerlendirmişlerdir.

Turgeon (2005), yaptığı çalışmada, Kanada’daki Kenogami barajı üzerinde yıllık olası kısıtları dikkate alarak dinamik programlama optimizasyon yöntemi ile günlük optimum işletmeyi belirlemiştir.

Sudha *et al.* (2006), Hindistan’da Malampzha rezervuarı işletmesi ile ilgili tam sayılı doğrusal programlama, karar ağaçları ve simülasyon tekniklerinin bileşenlerinden oluşan bir yöntem önermişlerdir. Çalışma alanı olarak Baharathapuzha havzasının 20553 ha sulama alanına sahip 226 hm³ kapasiteli Malampzha rezervuarı seçilmiştir. Sulama dışında içme ve kullanma suyu da rezervuardan bırakılmaktadır. Sulama suyu miktarının hesaplanmasında CROPWAT modeli kullanılmıştır. Sonra tam sayılı doğrusal programlama kullanılarak talepleri karşılayacak optimum su miktarı belirlenmiştir. Kullanılan tam sayılı doğrusal programlama modelinin amaç fonksiyonunda rezervuardan çekilen su miktarı maksimum olmuştur. Daha sonra elde edilen optimum sonuçlar karar ağacının düzeltilmesinde yararlanılmıştır. Karar ağacının inşasında kullanılan optimum veriler iki kısma bölünmüştür. Birincisi karar ağacı modelinin eğitilmesi ve ikincisi ise işletme amaçlı oluşan karar ağaçlarının test edilmesi için kullanılmıştır. Çalışmada kurak ve yağışlı dönemleri içeren 24 yıllık veri setinin 17 yılı eğitim için ve 7 yılı ise test için kullanılmıştır. Kuralların belirlenmesinde Quinlan (1993) tarafından geliştirilmiş (C5.0) algoritması ve bu algoritmaya dayalı See5 yazılımından yararlanmışlardır. Elde edilen sonuçlar simülasyon teknikleri yardımı ile değerlendirilmiştir. Araştırmacılar karar ağacı modelinin avantajını kuralların “eğer-ise” biçimine çevrilip yazılması olarak vurgulamışlardır.

Sattari *et al.* (2006), İran'da bulunan Keyserek rezervuarının aktif kapasitesinin hesaplanmasında deterministik doğrusal olmayan program uygulamıştır. Keyserek rezervuarı akarsu yatağı dışında bir rezervuar olup Cheki-Chay nehrinden bir kanalla 325 hektar alanın sulanmasında kullanılmaktadır. Belirli bir talep ve ihtiyaç duyulan aylarda rezervuara giren deterministik su miktarı durumunda modelin amaç fonksiyonu rezervuar hacmini minimize etmiştir. Geliştirilen model GAMS yazılım ortamında çözülmüştür.

Hançerlioğulları (2006), yaptığı çalışmada, fizik ve matematik problemlerinin çözümünde MCNP (Monte Carlo N- Parçacık Taşınım) kodunu kullanarak nükleer transport hesaplamalarında iyi sonuçlar almıştır.

Khan ve See (2006) İngiltere'de yaptıkları çalışmada, veri madenciliği yöntemlerinden olan regresyon ve M5 ağaç modelleri ile Ouse nehrinde su düzeyini tahmin etmişlerdir.

Sattari *et al.* (2007), yaptıkları çalışmada, Savalan rezervuar işletmesinde çok tabakalı ileri beslemeli geriye yayılım yapay sinir ağları simülasyonu yönteminden yararlanarak akımları tahmin etmişler. Tahmin edilen akımlardan yararlanarak; depolanan, savaklanan, hazne alanı üzerine düşen yağış ve hazne yüzeyinden buharlaşan su miktarlarını hesaplamışlardır. Rezervuar için süreklilik denklemi hem ölçülmüş ve hem de türetilmiş akımlarla çözülerek rezervuar parametreleri araştırılmıştır. Sonuçlar, gözlenmiş değerler ve simülasyonundan elde edilen değerler arasında genellikle uyum sağlandığını göstermiştir.

Sattari *et al.* (2008) Doğu Azerbaycan'da (İran'ın kuzey batısında) bulunan sulama amaçlı Yalkız Ağaç barajının kapasitesi; klasik ve optimizasyon yöntemleriyle belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre hazne kapasitesi Doğrusal Olmayan Optimizasyon yöntemi ile daha küçük ve ekonomik olarak hesaplanmıştır.

Mathlouthi and Lebdi (2008), Tunus'un kuzey bölgesinde Ghèzala barajında yaptığı çalışmada kurak ve nemli periyotlar için rezervuarın işletme kurallarını belirlemiştir.

Consoli *et al.* (2008), İtalya’da bulunan sulama amaçlı Pozzillo rezervuarında optimum sulama suyu dağıtımı amacı ile çok amaçlı doğrusal olmayan stokastik programlama modelini geliştirmişlerdir.

Ozturk *et al.* (2008), rezervuarların ölü hacminin hesaplanmasında, önemli bir faktör olan ve tahmin edilmesi gereken sediment askı yükü miktarını belirleme amacı ile doğrusal stokastik metoda dayalı bir model geliştirmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Çalışma bölgesinin genel tanıtımı ve özellikleri

Eleviyan kil çekirdekli toprak dolgu barajı; İran'ın kuzey batısında, Sahand dağının güneyinde, Urmu gölünün güney doğusunda ve Doğu Azerbaycan ilinin merkezi Tebriz'in güney batısında Tebriz'e 120 km uzaklıkta, $36^{\circ} 00'$ ve $46^{\circ} 25'$ doğu boylamları ile $37^{\circ} 11'$ ve $37^{\circ} 28'$ kuzey enlemleri arasında, Marağa (denizden yüksekliği 1485 m) kentine 3.5 km mesafede, Sofi çayı üzerinde tarımsal sulama, içme ve kullanma ve sanayiinin su taleplerini karşılamak amacı ile inşa edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Araştırma alanının konumu

Rezervuarın yıllık regüle edilebilen su miktarı 123.4 hm^3 , normal kapasitesi 60 hm^3 (57 hm^3 aktif + 3 hm^3 ölü hacim) ve taşkın kontrolü için maksimum kapasitesi 73 hm^3 olarak belirlenmiştir. Barajın gövde yüksekliği 70 m, temelden itibaren gövde yüksekliği 76 m, gövde uzunluğu 935 m ve gövde alt genişliği 410 metredir. Eleviyan barajı su toplama havzasının alanı 313.6 km^2 ve ortalama yüksekliği 2319 m dir. Marağa sinoptik

meteoroloji istasyonuna ait 1983-1996 yılları arasında alınan verilerin ortalamasına göre günlük ortalama sıcaklık -7°C ile $+28^{\circ}\text{C}$ arasında değişmekte, yıllık toplam yağmur miktarı ise Doğu Azerbaycan bölgesinde 330 mm ve Eleviyan barajında 291 mm ve yıllık toplam buharlaşma miktarı ise 2 056 mm dir (Çizelge 3.1).

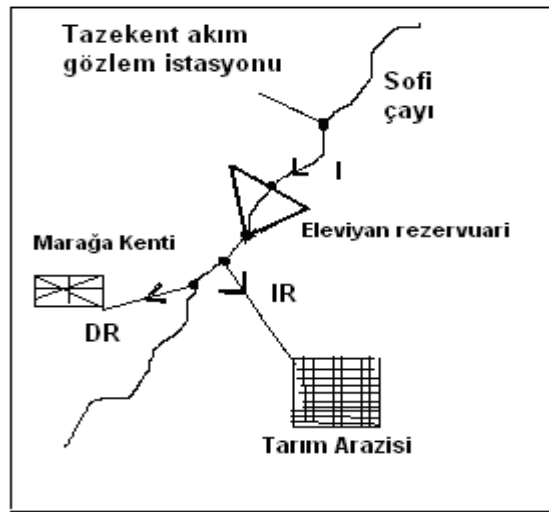
Çizelge 3.1 Çalışma bölgesine ait aylık iklim değerleri (Anonymous 2007)

Aylar	Nispi nem (%)		Nispi nem (%)	Yağışlı günler sayısı	Rüzgar hızı (knot)	Güneşlenme süresi (saat)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)			Yağmur (mm)	Buharlaşma (mm)
	maks.	min.					min.	maks.	ort.		
Ocak	84	57	72	5	4.1	123.5	-7	3	-1	31	9
Şubat	83	52	69	5.4	4.7	146.1	-5	4	0	21	0
Mart	80	43	62	7.8	5.8	179.5	1	7	5	36	1
Nisan	77	36	56	9	6.5	201.3	10	15	11	67	115
Mayıs	72	31	51	7.6	6.4	269.5	13	18	16	48	181
Haziran	60	23	41	3.3	7.6	336.7	20	25	22	8	308
Temmuz	53	21	36	1.2	9.4	353.6	25	28	26	3	402
Ağustos	54	21	36	0.6	8.9	339.5	23	28	26	2	417
Eylül	58	22	39	1.3	6.6	303.3	20	22	21	0	310
Ekim	69	32	51	4.2	4.8	231.8	13	16	15	5	184
Kasım	81	46	65	5	3.9	177.3	5	12	8	37	103
Aralık	84	55	72	5.2	3.8	132.2	-3	7	2	34	26
Yıllık	71	37	54	55.6	6	2794.3	9	15	13	291	2056

Eleviyan barajının esas amacı; 9 008 ha alanı sulamak, Marağa kenti ve askeri bölgenin içme ve kullanma suyunun bir kısmının temin etmek ve bölgede bulunan küçük sanayinin kullanma suyu taleplerini karşılamaktır (Anonymous 2007). Barajın 1995 yılında inşasına başlanmış ve 1997 yılında bitirilmiştir. Bu üç yıl boyunca akım verileri ölçülememiştir. Baraj 1997 Eylül ayında işletmeye açılmıştır. Çalışmada kullanılan hidrolojik, meteorolojik, tarımsal ve baraja ait teknik veriler, baraj yönetimi tarafından kaydedilmiş verilerdir. Ekim 1997-Eylül 2007 arasında baraja giren, depolanan ve çeşitli amaçlar için bırakılan su miktarları ölçülmüştür. Her bir rezervuar çalışmasında genel olarak barajın girdi ve çıktıları dikkate alınmaktadır. Tazekent akım gözlem istasyonunda Ekim 1973-Eylül 1994 yılları arasında ölçülmüş akım verileri mevcuttur. Çalışmada; aylık akım, yağmur, buharlaşma, depolanan su miktarı, sulama suyu talepleri, arazi alanı, bitki deseni, içme ve kullanma suyu talepleri ve bazı teknik bilgiler kullanılmıştır (Anonymous 2007).

Eleviyan barajının çalışma alanı olarak seçiminin en önemli nedeni günlük bazda rezervuara giren ve çıkan su miktarlarının ölçülmüş olmasıdır. Çalışmada günlük ölçümler aylık ölçümlere dönüştürülmüştür. İran'da işletme süresi uzun olan rezervuarların olmasına rağmen, bu rezervuarlara ait yeterli veri tabanı bulunmamaktadır. Yapılan bu çalışmada Florian *et al.* (2003) yaptığı çalışmanın benzeri olarak yapay verilerin türetilmesi ile daha uzun bir süreyi içeren periyodun dikkate alınmasına çalışılmıştır.

Marağa kenti, Tazekent akım gözlem istasyonu, Eleviyan rezervuarı ve bu rezervuara ait sulama alanı şematik olarak şekil 3.2 de verilmiştir. Şekil 3.2 den görüldüğü gibi Sofi çayından Eleviyan rezervuarına giren akımlar (I) rezervuarda depolandıktan sonra Marağa kentinin içme ve kullanma suyunun temini (DR) ve tarımsal arazilerin sulanması (IR) için kullanılmaktadır.



Şekil 3.2 Eleviyan rezervuarının şematik konumu

3.1.2 Eleviyan rezervuarına ait işletme parametreleri

3.1.2.1 Sulama suyu talepleri

Planlama aşamasında sulama alanı 4 bölgeye ayrılmıştır. Bunlardan ikinci bölge ise 2 alt bölgeye bölünmüştür. Bu bölgelerdeki ekiliş alanları; 2500.00 ha (Bölge 1), 1651.67

ha (Bölge 2A), 1879.57 ha (Bölge 2B), 1767.00 ha (Bölge 3), 1209.60 ha (Bölge 4) ve toplam alan 9007.84 ha dır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Eleviyan barajının mansabında bulunan sulama alanı ve bölgelere ait ekiliş alanları (Anonymous 2007)

Bölge	Bölge 1	Bölge 2A	Bölge2B	Bölge 3	Bölge 4	Toplam
Ekiliş alanı (ha)	2500.00	1651.67	1879.57	1767.00	1209.60	9007.84

Bölgedeki bitki deseni, genel tarım politikaları ve çiftçilerin alışkanlığına bağlı olarak tasarlanmıştır. Bölgede potansiyel evapotranspirasyon (ET_0) değerleri Penman–Monteith yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Aylık ET_0 değerleri çizelge 3.3 de verilmiştir (Anonymous 2007).

Çizelge 3.3 ET_0 değerleri (Anonymous 2007)

Ay	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıllık
ET_0 günlük (mm/gün)	0.73	1.18	1.99	3.36	4.80	6.28	6.46	6.08	4.14	2.53	1.29	0.86	39.7
ET_0 aylık (mm/ay)	22.63	33.04	61.69	100.80	148.80	188.40	200.26	188.48	124.20	78.43	38.70	26.66	1212.09

Görüldüğü gibi ET_0 değeri en çok 6.46 (mm/gün) Temmuzda ve en az 0.73 (mm/gün) ile Ocak ayındadır. Aylık ET_0 değerinin toplamı 1212.09 mm/yıl olmaktadır. Toplam sulama suyu talep miktarları CROPWAT yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Toplam sulama randımanı ise % 42.5 olarak alınmıştır (Anonymous 2007).

Çalışma bölgesine ait bitki katsayıları çizelge 3.4 de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Eleviyan havzasında tarım alanlarına ait bitki katsayıları

Bitki	Aylar											
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Buğday	0.5	0.7	0.89	1.07	1.14	0.84	0.33	0.00	0.00	0.21	0.21	0.03
Arpa	0.71	1.05	1.10	1.06	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.22	0.31
Yonca	0.00	0.00	0.00	0.21	0.82	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.38	0.00
Silaj mısır	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	1.00	1.00	0.22	0.22	0.22	0.00	0.00
Patates	0.00	0.00	0.00	0.31	0.41	1.03	1.16	1.07	0.85	0.00	0.00	0.00
Soğan	0.00	0.00	0.00	0.31	0.42	1.05	1.16	1.14	0.88	0.00	0.00	0.00
Kavun	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.51	0.96	1.01	0.9	0.00	0.00	0.00
Üzüm	0.00	0.00	0.00	0.75	0.77	0.85	0.85	0.87	0.85	0.62	0.00	0.00
Taneli Meyveler	0.00	0.00	0.00	0.45	0.95	0.95	0.95	0.70	0.70	0.00	0.00	0.00
Domates	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.69	1.09	1.15	0.95	0.23	0.00	0.00
Badem	0.00	0.00	0.00	0.75	0.76	0.84	0.88	0.93	0.66	0.66	0.29	0.00
Baklagil	0.00	0.00	0.00	0.39	1.14	0.91	0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Mansaptaki sulama suyu ihtiyaçları Çizelge 3.5 – Çizelge 3.10 de verilmiştir (Anonymous 2007).

Çizelge 3.5 Bölge 1'in brüt sulama suyu talebi (Anonymous 2007)

Bitki	Ekiliş oranı (%)	Ekili Alan (ha)	Aylar(hm ³)												Toplam
			Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
Buğday	15.00	375.0	0.22	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.71	1.41	0.26	0.00	0.00	3.17
Arpa	1.10	27.5	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.10	0.02	0.00	0.00	0.23
Yonca	2.70	67.5	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.21	0.27	0.26	0.18	1.17
Nadas	2.70	67.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Silaj mısır	5.10	127.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.24	0.36	0.00	0.00	0.00	0.75
Patates	1.10	27.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.10	0.14	0.12	0.02	0.44
Soğan	1.10	27.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.10	0.13	0.11	0.03	0.40
Domates	0.70	17.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.05	0.07	0.08	0.03	0.25
Kavun	0.70	17.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.07	0.08	0.00	0.21
Baklagil	1.30	32.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.13	0.00	0.00	0.00	0.17
Üzüm	21.00	525.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.56	0.88	1.65	0.99	4.75
Üzüm (kış sulaması)	21.00	525.0	0.00	0.00	0.62	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93
Taneli Meyveler	6.00	150.0	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.38	0.68	0.68	0.49	2.62
Taneli Meyveler (kış sulaması)	6.00	150.0	0.00	0.00	0.18	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
Çekirdekli Meyveler	27.50	687.5	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	1.72	3.11	3.11	2.22	12.04
Çekirdekli Meyveler (kış sulaması)	27.50	687.5	0.00	0.00	0.81	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21
Badem	7.00	175.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.23	0.23	0.23	0.00	0.93
Fidanlık	7.00	175.0	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.45	0.79	0.79	0.57	3.12
Toplam	100.00	2500.00	1.75	0.24	1.60	0.80	0.00	0.25	1.34	2.56	5.84	6.66	7.10	4.52	32.67

Çizelge 3.6 Bölge 2A'nin brüt sulama suyu talebi (Anonymous 2007)

Bitki	Ekiliş oran %	Ekili Alan (ha)	Aylar(hm ³)												Toplam
			Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
Buğday	21.9	361.72	0.21	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.68	1.36	0.26	0.00	0.00	3.06
Arpa	3.1	51.20	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.10	0.19	0.04	0.00	0.00	0.43
Yonca	6.3	104.06	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.12	0.32	0.42	0.40	0.28	1.80
Silaj mısır	6.3	104.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.20	0.29	0.00	0.00	0.00	0.61
Patates	8.9	147.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.16	0.52	0.74	0.66	0.13	2.36
Soğan	8.9	147.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.55	0.70	0.56	0.14	2.13
Domates	5.4	89.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.24	0.36	0.38	0.16	1.26
Kavun	4.8	79.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.22	0.32	0.34	0.00	0.97
Baklagil	3.3	54.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.22	0.00	0.00	0.00	0.29
Üzüm	9.4	155.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.16	0.26	0.49	0.29	1.41
Üzüm (kış sulaması)	9.4	155.26	0.00	0.00	0.18	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
Taneli meyveler	18.6	307.21	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.77	1.39	1.39	0.99	5.38
Taneli Meyveler (kış sulaması)	18.6	307.21	0.00	0.00	0.36	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54
Badem	3.1	51.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.07	0.07	0.07	0.00	0.27
Toplam	100	1651.67	0.81	0.24	0.54	0.27	0.00	0.07	1.11	1.99	4.91	4.56	4.30	2.00	20.80

Çizelge 3.7 Bölge 2B'nin brüt sulama suyu talebi (Anonymous 2007)

Bitki	Ekiliş oran %	Ekili Alan (ha)	Aylar(hm ³)												Toplam
			Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
Buğday	45.0	845.81	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	1.59	3.17	0.60	0.00	0.00	7.15
Arpa	3.5	65.78	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.12	0.25	0.05	0.00	0.00	0.56
Yonca	9.0	169.16	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.53	0.68	0.65	0.46	2.93
Nadas	9.0	169.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Silaj mısır	10.0	187.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.35	0.53	0.00	0.00	0.00	1.11
Patates	3.8	71.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.25	0.36	0.32	0.06	1.15
Soğan	3.8	71.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.27	0.34	0.27	0.07	1.04
Domates	2.3	43.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.12	0.18	0.19	0.08	0.61
Kavun	2.1	39.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.11	0.16	0.17	0.00	0.48
Baklagil	1.5	28.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.11	0.00	0.00	0.00	0.15
Üzüm	7.0	131.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.14	0.22	0.41	0.25	1.19
Üzüm (kış sulaması)	7.0	131.57	0.00	0.00	0.15	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
Badem	3.0	56.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.07	0.07	0.07	0.00	0.30
Toplam	100.0	1879.57	0.76	0.54	0.15	0.08	0.00	0.08	1.58	2.51	5.55	2.66	2.09	0.91	16.90

Çizelge 3.8 Bölge 3'ün brüt sulama suyu talebi (Anonymous 2007)

Bitki	Ekiliş oranı %	Ekili Alan (ha)	Aylar(hm ³)												Toplam
			Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
Buğday	21.9	386.97	0.23	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.73	1.45	0.27	0.00	0.00	3.27
Arpa	3.1	54.78	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.10	0.21	0.04	0.00	0.00	0.46
Yonca	6.3	111.32	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.13	0.35	0.45	0.43	0.30	1.93
Silaj mısır	6.3	111.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.21	0.31	0.00	0.00	0.00	0.65
Patates	8.9	157.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.17	0.56	0.79	0.71	0.14	2.53
Soğan	8.9	157.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.59	0.75	0.60	0.15	2.28
Domates	5.4	95.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.26	0.39	0.41	0.17	1.35
Kavun	4.8	84.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.23	0.35	0.37	0.00	1.04
Baklagil	3.3	58.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.23	0.00	0.00	0.00	0.31
Üzüm	9.4	166.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.18	0.28	0.52	0.31	1.50
Üzüm (kış sulaması)	9.4	166.10	0.00	0.00	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
Taneli meyveler	18.6	328.66	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.82	1.49	1.49	1.06	5.75
Taneli Meyveler (kış sulaması)	18.6	328.66	0.00	0.00	0.39	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58
Badem	3.1	54.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.07	0.07	0.07	0.00	0.29
Toplam	100.0	1767.00	0.87	0.26	0.58	0.29	0.00	0.08	1.18	2.12	5.26	4.88	4.60	2.14	22.25

Çizelge 3.9 Bölge 4'ün brüt sulama suyu talebi (Anonymous 2007)

Bitki	Ekiliş oranı %	Ekili Alan (ha)	Aylar(hm ³)												Toplam
			Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
Buğday	31.90	385.86	0.23	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.73	1.45	0.27	0.00	0.00	3.26
Yonca	1.10	13.31	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.05	0.05	0.04	0.23
Bostan (kuru)	18.20	220.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Üzüm	17.60	212.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.23	0.36	0.67	0.40	1.92
Üzüm (kış sulaması)	17.60	212.89	0.00	0.00	0.25	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38
Taneli meyveler	6.00	72.58	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.18	0.33	0.33	0.23	1.27
Taneli Meyveler (kış sulaması)	6.00	72.58	0.00	0.00	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13
Badem	5.90	71.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.09	0.09	0.09	0.00	0.38
Nadas	19.30	233.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Toplam	100.00	1209.60	0.35	0.23	0.34	0.17	0.00	0.10	0.65	0.84	1.99	1.11	1.14	0.67	7.57

Bütün bölgelerdeki toplam sulama su talebi Çizelge 3.10 da özetlenmiştir.

Çizelge 3.10 Toplam brüt sulama suyu talebi (hm³) (Anonymous 2007)

Aylar	Sulama alanı bölgeleri					Toplam sulama suyu talebi
	Bölge 1	Bölge 2A	Bölge 2B	Bölge 3	Bölge 4	
Ekim	1.75	0.81	0.76	0.87	0.35	4.53
Kasım	0.24	0.24	0.54	0.26	0.23	1.50
Aralık	1.60	0.54	0.15	0.58	0.34	3.22
Ocak	0.80	0.27	0.08	0.29	0.17	1.61
Şubat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mart	0.25	0.07	0.08	0.08	0.10	0.58
Nisan	1.34	1.11	1.58	1.18	0.65	5.86
Mayıs	2.56	1.99	2.51	2.12	0.84	10.01
Haziran	5.84	4.91	5.55	5.26	1.99	23.55
Temmuz	6.66	4.56	2.66	4.88	1.11	19.86
Ağustos	7.10	4.30	2.09	4.60	1.14	19.23
Eylül	4.52	2.00	0.91	2.14	0.67	10.24
Toplam	32.67	20.80	16.90	22.25	7.57	100.19

Bazı bölgelerde derin köklü meyve ağaçlarında dona karşı korumak için kış sulaması yapılmaktadır. Kış sulamasında amaç, kök bölgesindeki rutubeti tarla kapasitesi civarında tutmaktır (Ketchie 2009). Eleviyan barajı sulama alanında; üzüm, taneli meyveler ve çekirdekli meyve ağaçlarına dondan korunmak amacıyla kış aylarında sulama yapılmaktadır (Anonymous 2007).

Çizelge 3.10 dan da görüldüğü gibi mansapta bulunan sulanabilir toplam 9 008 ha arazinin yıllık toplam sulama suyu talebi 100.19 hm³ tür, bu değer işletme açısından 101 hm³ olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanında uygulanan sulama yöntemi genelde salma sulama yöntemidir. Gelecek yıllarda daha yüksek randımanlı damla ve yağmurlama sulama sistemlerin kullanımı ile sulanabilir alanın 12 500 hektara ulaşması öngörülmüştür.

3.1.2.2 İçme ve kullanma suyu talepleri

Nüfus artışı, kişi başına düşen standart içme ve kullanma suyu ve küçük kapsamlı sanayi talepleri dikkate alınarak yıllık yaklaşık 22 hm³ olarak toplam içme ve kullanma suyu hesaplanmıştır. Çizelge 3.11 de ay bazında ortalama içme ve kullanma suyu talepleri özetlenmiştir (Anonymous 2007).

Çizelge 3.11 Aylık ortalama içme ve kullanma suyu talepleri

Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
İçme ve kullanma suyu talepleri (hm ³)	1.60	1.55	1.64	1.71	1.77	2.01	2.23	2.28	2.12	1.90	1.71	1.58	22.00

3.1.2.3 Eleviyan barajında yağmur ve buharlaşma miktarı

Rezervuar işletmesinde en önemli kayıplardan birisi rezervuar göl yüzeyinden buharlaşan su miktarıdır. Eleviyan barajının işletmeye açılışı ile hemen çevrede olan meteorolojik değerleri gözlemek amacı ile bir meteoroloji istasyonu işletmeye açılmıştır. Bu gözlem istasyonunda ölçülen açık su yüzeyinden buharlaşan su miktarının aylık değerleri çizelge 3.12 de verilmiştir. Toplam yıllık buharlaşma miktarı 2 056 mm olarak gözlenmiştir (Anonymous 2007). Aylık ortalama olarak en yüksek buharlaşma miktarı 417.0 mm ile Ağustos ayında gözlenmiştir. Ağustos sırası ile Temmuz (402.0 mm), Eylül (310.0 mm) ve Haziran (308.0 mm) ayları takip etmektedir.

Çizelge 3.12 Açık su yüzeyinden buharlaşan aylık ortalama su miktarı (mm)

Su yılı	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1996-1997	156.0	288.0	26.0	73.0	0.0	0.0	110.0	187.0	235.0	351.0	321.0	298.0	2019.0
1997-1998	158.0	74.0	35.0	0.0	0.0	0.0	99.0	106.0	362.0	501.0	453.0	362.0	2150.0
1998-1999	174.0	114.0	79.0	9.0	0.0	0.0	78.0	215.0	381.0	409.0	496.0	357.0	2312.0
1999-2000	206.0	62.0	10.0	0.0	0.0	0.0	102.0	148.0	394.0	479.0	497.0	339.0	2237.0
2000-2001	155.0	77.0	19.0	0.0	0.0	0.0	141.0	214.0	301.0	399.0	476.0	307.0	2089.0
2001-2002	181.3	73.7	28.3	0.0	0.0	0.0	99.0	205.0	282.0	409.0	359.0	213.0	1850.3
2002-2003	272.0	95.0	11.3	0.0	0.0	9.1	112.0	203.0	235.0	337.0	368.0	302.0	1944.4
2003-2004	161.0	83.0	18.0	0.0	0.0	0.0	134.0	151.0	264.0	341.0	354.0	288.0	1794.0
2004-2005	194.9	64.2	3.9	0.0	0.0	0.0	161.8	202.4	314.1	387.6	431.3	326.3	2086.5
Ortalama	184.0	103.0	26.0	9.0	0.0	1.0	115.0	181.0	308.0	402.0	417.0	310.0	2056.4

Çalışma bölgesinde hazne göl yüzeyine düşen yağmur miktarı ise çizelge 3.13 de verilmiştir (Anonymous 2007).

Çizelge 3.13 Aylık toplam yağmur miktarı

Su yılı	Aylık toplam yağmur miktarı (mm)												Toplam
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1996-1997	16.0	22.5	34.9	31.0	10.5	61.1	51.5	15.2	19.5	7.9	0.0	0.0	270.1
1997-1998	4.5	43.0	33.5	16.5	23.0	24.0	59.0	60.5	0.0	0.0	5.0	0.0	269.0
1998-1999	0.0	17.5	0.0	34.5	31.0	72.5	70.5	8.0	0.0	4.5	0.0	0.0	238.5
1999-2000	0.0	23.0	18.0	18.0	18.6	6.5	58.5	21.5	3.0	0.0	7.5	0.0	174.6
2000-2001	6.0	20.5	30.5	5.5	11.0	39.5	60.5	26.5	0.0	9.0	5.0	0.0	214.0
2001-2002	4.0	47.5	40.0	72.0	19.5	41.5	132.5	54.5	2.0	0.0	0.0	0.0	413.5
2002-2003	10.0	23.0	84.5	16.5	22.5	40.0	81.8	47.0	11.5	0.0	0.0	0.0	336.8
2003-2004	0.0	34.8	46.0	48.7	24.5	20.0	19.0	142.5	21.5	7.5	0.0	0.0	364.5
2004-2005	2.5	100.2	17.5	33.5	29.5	16.0	69.5	59.5	10.5	0.0	1.0	1.5	341.2
Ortalama	5.0	37.0	34.0	31.0	21.0	36.0	67.0	48.0	8.0	3.0	2.0	0.2	291.4

Aylık ortalama yağmur miktarı 1996-2005 yılları arasında en az 0.0 mm ile Eylül ayında en çok 67.0 mm ile Nisan ayında gözlenmiştir. Gözlem periyodu süresince yıllık ortalama yağmur miktarı 291.4 mm olmuştur.

Marağa sinoptik meteoroloji istasyonunda 1983-1996 yıllarına ait ölçülmüş sıcaklık değerleri çizelge 3.14 de verilmiştir.

Çizelge 3.14 Marağa sinoptik meteoroloji istasyonuna ait sıcaklık değerleri (C°)

Yıl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1983	-7	-4	4	11	16	21	25	25	21	14	10	3
1984	2	1	7	11	13	22	27	24	21	14	7	-3
1985	-1	0	1	12	18	23	26	25	22	13	10	1
1986	-5	-5	6	15	18	23	28	27	21	16	8	3
1987	-3	0	5	10	17	23	27	25	22	14	10	3
1988	-2	0	6	13	16	23	27	27	21	15	8	-1
1989	-4	-2	1	10	13	20	25	23	20	14	7	1
1990	-2	0	3	10	15	21	25	24	21	14	5	2
1991	1	2	7	13	16	21	25	26	20	15	8	0
1992	3	3	7	11	17	21	25	27	21	13	7	2
1993	0	3	5	10	18	21	27	26	21	14	8	6
1994	1	-1	2	11	17	23	26	27	20	15	8	3
1995	-2	0	6	12	17	25	26	27	22	16	12	7
1996	2	4	7	12	18	24	26	28	21	16	7	5
Ortalama	-1	0	5	11	16	22	26	26	21	15	8	2
Minimum	-7	-5	1	10	13	20	25	23	20	13	5	-3
Maksimum	3	4	7	15	18	25	28	28	22	16	12	7

Çizelge 3.14 den görüldüğü gibi çalışma bölgesine ait sıcaklıklar 1983-1996 yılları arasında -7 C° ile +28 C° arasında değişmektedir.

3.1.2.4 Akımlar

Tazekent akım gözlem istasyonunda Ekim 1973 ten itibaren 1994 Eylül ayına kadar ölçülmüş akım verileri mevcuttur. Çizelge 3.15 -3.16'da aylık ortalama akımlar m³/s ve hm³ olarak ayrı ayrı verilmiştir (Anonymous 2007).

Çizelge 3.15 Tazekent akım gözlem istasyonundaki aylık ortalama akım miktarları-a

Su yılı	Aylık akım miktarları (m ³ /s)												Ortalama (m ³ /s)	Toplam (hm ³)
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül		
1973–1974	0.91	1.25	1.54	1.47	1.36	2.30	10.6	16.70	14.30	2.32	1.81	1.20	4.65	146.54
1974–1975	1.79	1.45	1.50	1.56	1.71	1.99	7.38	10.47	11.18	3.38	1.35	1.61	3.78	119.23
1975–1976	1.67	1.20	1.10	1.33	1.03	0.99	12.63	23.5	18.10	5.42	1.03	0.79	5.73	180.78
1976–1977	2.01	1.20	1.17	1.28	1.36	5.79	10.67	10.10	8.149	1.14	0.86	1.035	3.73	117.65
1977–1978	0.99	1.28	1.81	1.58	1.64	2.98	12.66	27.56	21.71	5.96	1.58	1.08	6.74	212.42
1978–1979	1.32	1.60	1.74	1.54	1.05	2.43	7.53	6.57	4.87	3.14	1.28	1.18	2.85	90.01
1979–1980	1.20	1.86	1.68	1.18	1.82	2.16	9.16	30.98	10.60	2.08	1.25	1.06	5.42	170.90
1980–1981	1.30	1.50	1.32	1.28	1.86	3.17	6.65	15.67	19.76	5.22	1.51	1.08	5.03	158.52
1981–1982	1.29	1.58	1.50	1.32	1.60	1.60	9.15	15.52	6.10	2.09	1.06	1.14	3.66	115.50
1982–1983	1.70	1.21	1.39	1.68	1.29	1.40	7.49	10.60	8.24	1.00	0.65	0.64	3.11	98.00
1983–1984	1.49	1.54	1.99	1.05	1.20	2.34	6.19	7.48	10.30	2.79	0.94	0.79	3.18	100.13
1984–1985	1.06	1.67	1.60	1.50	1.83	3.13	14.55	17.45	10.90	2.89	1.73	0.99	4.94	155.84
1985–1986	1.20	1.21	1.37	1.38	1.23	1.66	8.93	11.38	10.13	3.27	1.35	1.31	3.70	116.74
1986–1987	1.26	1.45	1.51	1.54	2.18	3.66	9.78	17.21	11.20	3.37	3.09	1.43	4.81	151.58
1987–1988	1.24	2.89	2.12	1.48	1.35	2.07	12.55	22.75	15.36	6.09	1.24	0.87	5.83	183.99
1988–1989	1.41	1.46	1.40	3.10	2.55	2.80	5.81	5.53	2.33	1.24	1.01	0.93	2.46	77.71
1989–1990	0.89	1.31	1.57	0.95	0.78	2.23	5.83	12.46	7.35	1.75	2.63	1.28	3.25	102.57
1990–1991	0.79	1.37	1.63	1.47	1.24	1.43	7.44	9.23	4.13	2.12	0.92	0.60	2.70	85.07
1991–1992	1.05	1.58	1.78	1.14	1.05	1.17	12.71	23.20	20.28	4.39	0.93	1.47	5.90	185.93
1992–1993	1.69	1.97	1.16	1.27	0.69	0.69	11.32	17.86	14.39	2.02	1.14	1.15	4.61	145.46
1993–1994	1.46	2.11	1.71	1.93	2.21	3.63	10.19	15.83	9.95	3.49	1.16	0.96	4.55	143.57
Ortalama	1.32	1.56	1.55	1.48	1.48	2.36	9.49	15.62	11.40	3.10	1.36	1.08	4.32	136.10

Çizelge 3.16 Tazekent akım gözlem istasyonundaki aylık ortalama akım miktarları-b

Su yılı	Aylık akım miktarları (hm ³)												Ortalama (hm ³)	Toplam (hm ³)
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül		
1973–1974	2.39	3.28	4.04	3.86	3.57	6.04	27.84	43.86	37.56	6.09	4.75	3.15	12.20	146.46
1974–1975	4.70	3.81	3.94	4.10	4.49	5.23	19.38	27.50	29.36	8.88	3.55	4.23	9.93	119.17
1975–1976	4.39	3.15	2.89	3.49	2.71	2.60	33.17	61.72	47.54	14.24	2.71	2.07	15.06	180.68
1976–1977	5.28	3.15	3.07	3.36	3.57	15.21	28.03	26.52	21.40	3.01	2.26	2.72	9.80	117.59
1977–1978	2.60	3.36	4.75	4.15	4.31	7.83	33.25	72.39	57.02	15.65	4.15	2.84	17.69	212.30
1978–1979	3.47	4.20	4.57	4.04	2.76	6.38	19.78	17.26	12.79	8.25	3.36	3.10	7.50	89.96
1979–1980	3.15	4.89	4.41	3.10	4.78	5.67	24.06	81.37	27.84	5.46	3.28	2.78	14.23	170.81
1980–1981	3.41	3.94	3.47	3.36	4.89	8.33	17.47	41.16	51.90	13.71	3.97	2.84	13.20	158.43
1981–1982	3.39	4.15	3.94	3.47	4.20	4.20	24.03	40.76	16.02	5.49	2.78	2.99	9.62	115.44
1982–1983	4.47	3.18	3.65	4.41	3.39	3.68	19.67	27.84	21.64	2.63	1.71	1.68	8.16	97.94
1983–1984	3.91	4.04	5.23	2.76	3.15	6.15	16.26	19.65	27.05	7.33	2.47	2.07	8.34	100.07
1984–1985	2.78	4.39	4.20	3.94	4.81	8.22	38.22	45.83	28.63	7.59	4.54	2.60	12.98	155.76
1985–1986	3.15	3.18	3.60	3.62	3.23	4.36	23.46	29.89	26.61	8.59	3.55	3.44	9.72	116.67
1986–1987	3.31	3.81	3.97	4.04	5.73	9.61	25.69	45.20	29.42	8.85	8.12	3.76	12.62	151.50
1987–1988	3.26	7.59	5.57	3.89	3.55	5.44	32.96	59.75	40.34	16.00	3.26	2.29	15.32	183.89
1988–1989	3.70	3.83	3.68	8.14	6.70	7.35	15.26	14.52	6.12	3.26	2.65	2.44	6.47	77.67
1989–1990	2.34	3.44	4.12	2.50	2.05	5.86	15.31	32.73	19.31	4.60	6.91	3.36	8.54	102.51
1990–1991	2.07	3.60	4.28	3.86	3.26	3.76	19.54	24.24	10.85	5.57	2.42	1.58	7.09	85.02
1991–1992	2.76	4.15	4.68	2.99	2.76	3.07	33.38	60.94	53.27	11.53	2.44	3.86	15.49	185.83
1992–1993	4.44	5.17	3.05	3.34	1.81	1.81	29.73	46.91	37.80	5.31	2.99	3.02	12.12	145.38
1993–1994	3.83	5.54	4.49	5.07	5.80	9.53	26.76	41.58	26.13	9.17	3.05	2.52	11.96	143.49
Ortalama	3.47	4.09	4.08	3.88	3.88	6.21	24.92	41.03	29.93	8.15	3.57	2.83	11.34	136.10

Çizelge 3.15-3.16’da görüldüğü gibi 21 yıllık gözlem süresince Sofi çayının yıllık ortalama akım miktarı 136 hm³ tür. Eğer membada alınan su miktarları ve buharlaşma kayıpları dikkate alınmazsa kaba bir yorumla Sofi çayından gelen akımın, toplam 123 hm³ lük talebi karşılayacağını söyleyebiliriz. Rezervuardaki tüm parametreleri bir bütün olarak optimizasyon modeline dahil edip optimum çıktıları hesapladıktan sonra bu konuda daha kesin değerler vermek mümkün olabilir.

Rezervuara ait hacim-alan diyagramı, hazneden buharlaşan su miktarı ve hazne gölüne düşen su miktarının hesaplanmasında da kullanılır. Hacim-alan grafiği doğrusal olmadığından doğrusal şekle çevrilebilir. Eleviyan rezervuarına ait hacim-alan değerleri çizelge 3.17 ‘de verilmiştir (Anonymous 2007).

Çizelge 3.17 Hacim-Alan diyagramı değerleri

Yükseklik (m)	Alan (m ²)	Hacim (m ³)
1384	217 750	246 783
1386	435 500	3 095 969
1388	3 055 000	7 128 710
1390	4 099 250	10 373 560
1392	6 356 500	15 514 890
1394	9 248 500	20 139 046
1396	10 913 500	24 174 444
1398	13 300 250	29 336 810
1400	16 080 500	34 837 800
1402	18 792 500	40 441 300
1404	21 683 250	46 860 688
1406	25 222 000	54 028 940
1408	28 842 500	60 889 804
1410	30 931 375	67 595 568
1412	33 020 250	74 624 710
1414	35 554 750	80 631 120

3.1.3 Çalışmada kullanılan yazılımlar

3.1.3.1 GAMS

General Algebraic Modeling System (GAMS) yazılımı genel matematik problemlerinin çözümünde ve özellikle optimizasyon çalışmalarında kullanılan bir yazılımdır. Bu yazılımın kendine ait özel programlama dili vardır. GAMS yazılımı her türlü doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılabilir. Bu yazılım ilk defa Dünya Bankası tarafından DOS ortamında yazılmış ve geliştirilerek Windows ortamına aktarılmıştır (Rosenthal 2008). Bu çalışmada geliştirilmiş doğrusal programlama modeli GAMS yazılımı kullanılarak Eleviyan rezervuarının optimum işletme parametreleri hesaplanmıştır.

3.1.3.2 SYSTAT 11

SYSTAT 11 paket programı, bilinen ve geniş kapsamda kullanılan bir istatistiksel programdır. Windows ortamında bulunan SYSTAT 11 paket programı içinde her türlü

istatistiksel çalışmalara olanak sağlanmıştır. Bu paket program grafiksel bir ortamda isteğe bağlı şekiller ve çıktılar sunmaktadır (Anonymous, 2004). Çalışmada akımların uygun dağılımlarının belirlenmesinde ve belirlenen dağılımlara göre akımların türetilmesinde ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde SYSTAT 11 yazılımı kullanılmıştır.

3.1.3.3 See5

Quinlan (1993) tarafından geliştirilen C5.0 algoritmasına dayalı bu program Windows ortamında ve karar ağaçlarının oluşturulması ve değerlendirilmesinde kullanılan bir programdır. See5 programının işi bir durumun diğer özelliklerin miktarı üzerinden hangi sınıfa ait olduğunu tahmin etmektir. See5 sınıflandırıcı işlevi olan karar ağaçları veya karar kuralları setini oluşturabilir. See5'te her uygulamanın Filestem adlı kısa bir adı vardır. See5'le yazılan veya okunan her bir uygulamanın filestem.extension formunda adları vardır. İlk bölüm dosyanın adını, ikinci kısım ise dosyanın içeriğini göstermektedir. See5 programının uygulamalarında uzantılarla (extension) belirlenen 2 [adlar (names) ve veri (data)] zorunlu ve 3 [test, maliyet (cost) ve durum (case)] seçmeli dosya kullanılmaktadır (Anonymous 2008).

Birinci zorunlu dosya adlar (names) dosyası olup sınıfları ve özellikleri belirtir. See5 programının uygulanmasında ikinci önemli dosya veri dosyasıdır. Bu veri dosyasında program tarafından belirlenecek örüntülere ait eğitim sırasında kullanılacak durumlar mevcuttur. Bu dosyada her durum apaçık olan özelliklerin miktarlarını bir veya birkaç satır veri ile ifade etmektedir. Eğer sınıflar isimler dosyalarının ilk satırında verilmişse, özellik miktarları sınıf durumları miktarlarının ardından gelir. Değerler “,” ile ayrılır ve giriş seçmeli olarak bir periyotla sona ermiş olur. Bu dosyada dikey '|' işaretinden sonra gelen bilgiler ihmal edilir. “?” işareti belirli olmayan veya kaybolan değerler için kullanılır. Benzeri şekilde “N/A” işareti özel bir durum için bir değer uygulanabilir olmamasını gösterir (Anonymous 2008).

Elde edilen tahmin örüntüleri değerlerinin doğruluğunun sınaması için seçimli olan bu test dosyaları kullanılmaktadır. Bu dosyalarla sınıflayıcılar değerlendirilmiş olur.

See5 programının ana penceresi 6 bölümden oluşmaktadır. Bunlara File menüsünden de erişmek mümkündür (Anonymous 2008).

1. Locate Data: Uygulama için aradığınız dosyayı çağırır veya değiştirir.
2. Construct Classifier: Sınıflandırıcı tipini ve diğer seçenekleri belirler.
3. Stop: Sınıflandırma sürecini durdurur.
4. Review Output: Programın çıktısı ve düzeltilmiş sınıfın içeriğin gösterir.
5. Use Classifier: Etkileşimli yürürlükteki sınıfı bir veya çok durumlara uygular.
6. Cross-Reference: Eğitmek ve test verilerinin nasıl sınıflandırıcı veya onun tersi ile olan ilişkisini gösterir.

See5 programının çalıştırılması için önce isimler (names) ve veri (data) dosyaları ve diğer seçilmeli dosyalar hazırlanır. Sonra Locate Data bölümünden dosya çağırılır. Çeşitli sınıflandırıcılar See5 programında kullanılmaktadır. Construct Classifier bölümünden sınıflandırıcı türü isteğe bağlı olarak seçilmiş olur. See5 programında varsayılan seçenekler birçok uygulamaya yeterlidir. See5 yazılımı ile inşa edilen sınıflandırıcılar eğitim verileri üzerinde değerlendirilir. Eğer görünmeyen ayrı test durumları dosyaları varsa önceden bahsedildiği cross-validation'le değerlendirilir. Bazen karar ağaçların anlaması zor olabilir. See5 programında karar ağaçlarını anlaşılır eğer-ise biçiminde düzenlenmiş kurallar setine çevirme olanağı vardır. Rulesets seçeneği sınıflandırıcıları karar ağacı yerine kurallar seti formunda gösterir. Her kuralın içerdiği özellikler aşağıda verilmiştir (Anonymous 2008).

- Kural numarası
- İstatistikler $(n, \text{lift } x)$ ya $(n/m, \text{lift } x)$ ki kuralın performansını özetler. Bir yaprağın benzeri olarak, n eğitim sırasında kuralla örtüşen durum sayısı (doğru tahmin), m kuralla tahmin edilmiş sınıf içine girmeyen durum sayısını (yanlış tahmin) göstermektedir. Kuralların doğruluğu Laplace oranı ile tahmin edilir.
$$\text{Laplace} = (n - m + 1) / (n + 2)$$

Lift x istatistik değeri ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\text{Lift } x = ((n-m+1)/(n+2)) / (\text{model tarafından belirtilen her sınıfa ait durum sayısı} / \text{eğitim aşamasındaki tüm durum sayısı})$$

Kuralların değerlendirilmesinde en önemli ve kullanışlı istatistik değer Laplace doğruluk oranıdır (Anonymous 2008).

Çalışmada karar ağaçlarının ve kurallar setinin çıkarılmasında ve sonuçların değerlendirilmesinde See5 yazılımı kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

Tezde kullanılan; optimizasyon, simülasyon ve veri madenciliği yöntemleri bu bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Doğrusal programla yöntemi ile rezervuar inşası öncesi ve sonrasına ait çeşitli veri setleri ile optimum işletme planı belirlenmiş, Monte Carlo simülasyon yöntemi ile akım verileri türetilmiş ve materyalde verilen veri setlerine göre veri madenciliği yöntemi ile işletme kuralları “eğer-ise” biçiminde belirlenmiştir.

3.2.1 Eleviyan rezervuarına ait optimizasyon modeli

Eleviyan sulama rezervuarında talepleri karşılayacak maksimum alınması gereken su miktarı doğrusal programlama yöntemi (Wurbs 2005, Locuks and Beek 2005, Sudha et al 2006) ile hesaplanmıştır. Rezervuarın inşasından önce 21 yıllık akım verileri Tazekent akım gözlem istasyonunda elde edilmiştir. Bu akımlar rezervuarın planlanma aşamasında dikkate alınmıştır. Bu akımlar kurulan optimizasyon modelinin girdisi olarak ele alınmıştır. Kurulan optimizasyon modelinde 21 yıllık süre içinde sulama amaçlı toplam aylık bırakılan su miktarları maksimize edilmeye çalışılmıştır. Su bütçesi denklemi ise modelin en önemli kısıtı olarak rezervuar sistemine giren ve çıkan su miktarlarını dengelemektedir. Rezervuarda her zaman diliminde depolanan su miktarı rezervuarın toplam kapasitesinden büyük olamaz. Bu kısıtla suyun gereksiz yere savaklanmasına izin verilmemiş olur. Öte yandan rezervuarda depolanan su miktarı her zaman ölü hacmin üzerinde olması istenmektedir. Rezervuardan sulama amacı ile

bırakılacak su miktarları, önceden belirlenmiş bitki desenine göre su ihtiyaçlarına karşılık olmalıdır. Talebin üzerinde suyun bırakılması istenmeyen bir durumdur. Modelde içme ve kullanmaya ayrılan su payı hiçbir zaman planlama aşamasındaki hesaplamalardan az olamaz. Gerekirse sulama suyunda tasarrufa gidilebilir ve/veya açıklar olabilir, ancak içme suyu miktarı hiç bir zaman sıfıra düşmesi istenmez. Rezervuar sisteminde meydana gelebilecek buharlaşma kayıpları veya göl yüzeyine düşen yağışlar modelin diğer elemanları olarak, bazı basitleştirmeler sonucu modele dahil edilmiştir.

$$\text{Amaç Fonksiyonu: Maksimum } Z = \sum_i \sum_j IR_{i,j} \quad (3.1)$$

$$i=1,2,\dots,21$$

$$j=1,2,\dots,12$$

Kısıtlar:

$$ST_{i,j+1} = ST_{i,j} + I_{i,j} + PP_{i,j} - EV_{i,j} - IR_{i,j} - DR_{i,j} - Spill_{i,j} \quad (3.2)$$

$$ST_{i,j} \leq (Ka + Kd) \quad (3.3)$$

$$ST_{i,j} \geq Kd \quad (3.4)$$

$$IR_{i,j} \leq DE_{i,j} \quad (3.5)$$

$$STmean_{i,j} = [(ST_{i,j} + ST_{i,j+1})] / 2 \quad (3.6)$$

$$Alan_{i,j} = A_0 + A * STmean_{i,j} \quad (3.7)$$

$$EV_{i,j} = e_j * Alan_{i,j} \quad (3.8)$$

$$PP_{i,j} = p_j * Alan_{i,j} \quad (3.9)$$

Modelde:

IR= Sulama amacı ile rezervuardan bırakılan su miktarı, (hm³)

ST= Rezervuarda depolanan su miktarı, (hm³)

I= Rezervuara giren akım miktarı, (hm³)

PP= Hazne göl yüzeyine düşen yağmur hacmi, (hm³)

EV= Hazne göl yüzeyinden buharlaşan su hacmi, (hm³)

DR= İçme ve kullanma suyu talebi, (hm³)

DE= Bitki desenine göre hesaplanmış sulama suyu talebi, (hm³)

Spill= Rezervuardan savaklanan su miktarı, (hm^3)

Ka= Rezervuarın aktif kapasitesi, (hm^3)

Kd= Rezervuarın ölü hacmi, (hm^3)

STmean= Rezervuarda dönemler arası ortalama depolanan su miktarının hacmi, (hm^3)

Alan= Rezervuarın dönemler arası ortalama alanı, (m^2)

e= Buharlaşma miktarı, (mm)

p= Yağış miktarı, (mm)

A₀= Doğrusallaştırılmış denklemin sabit değeri

A= Doğrusallaştırılmış denklemin eğimi

i= yıl indisi

j= ay indisi.

Kurulan modelde ST, IR, PP, EV, Spill karar değişkenleri olup ve model çalıştırıldıktan sonra miktarları belirlenecektir. I, DR, DE ler ise model girdileri olarak önceden belirlenmişlerdir.

Modelde EV ve PP değerlerinin hesaplanmasında eşitlik 3.8 ve 3.9 da görüldüğü gibi yağış (p), buharlaşma (e), sulama suyu talebi (DE) ve içme-kullanma suyu (DR) miktarları aylık sabit olarak kabul edilmiştir.

Model GAMS yazılım ortamında çözülmüş ve karar değişkenleri ile amaç fonksiyonu değerleri hesaplanmıştır.

3.2.2 Monte Carlo simülasyon yöntemi

Bir olay, süreç veya sistemle ilgili bir özelliğin ya da davranışın model üzerinde gözlenmesine simülasyon denir. Matematiksel modellerde, analitik veya sayısal bir çözüm bulunmadığında simülasyona başvurulur. Matematiksel modellemede optimum bir sonuç yerine değişik koşullar altında yapılan denemelerle bir takım gözlem sonuçları elde ederek çeşitli senaryolara göre sistemin davranışını belirlemek mümkündür. Modeller kurulduktan sonra, bu modellerden sonuç çıkarma veya başka bir ifadeyle çözüm yöntemlerinden birisi olan simülasyon, analitik ve sayısal çözümler yanında en

son başvurulması gereken çare olarak düşünülmesine karşılık, bilgisayar ve diğer teknolojik gelişmeler sonucunda çok kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Bununla birlikte simülasyon ile elde edilen gözlemlerin gerçek dünyadakine göre ucuz, çabuk ve tekrarlanabilir şekilde elde edilmesi ve özellikle stokastik modellerde çok değişik koşullar altında gözlem yapma olanağı vermesi bazı durumlarda simülasyonu birinci sırada tercih edilen bir yöntem haline getirmiştir. Simülasyon, yöneylem araştırmasında olduğu gibi diğer bilimsel alanlarda da maliyeti düşük kullanışlı bir yöntemdir. Özellikle stokastik (hidrolojik ve su kaynakları yönetimi mühendisliği) modellerdeki yapılan simülasyonda rastgeleliğin sağlanması (olasılık dağılımlarından rasgele sayı türetilmesi) ve simülasyon sonucundan elde edilen gözlem değerlerine bağlı sonuçların uygunluk sorunları, istatistiksel olarak çözülmesi gerekenlerden başlıca ikisidir. Olasılık dağılımlarından rasgele sayı türetilmesinin esası düzgün dağılımdan sayı türetilmesine bağlıdır. Monte Carlo simülasyon yöntemi rasgele örnek sayılar türetmekle dağılım fonksiyonunun fonksiyonel tahmini için kullanılmaktadır. Genellikle birçok simülasyon problemi bir beklenen değer, yani bir integral hesabına indirildiğinden Monte Carlo Entegrasyonu çok sık kullanılan bir ifadedir. Bir modelde rasgele sayıların kullanılması ile yapılan çözümlemeler Monte Carlo Tekniği veya Monte Carlo Simülasyonu olarak tanımlamaktadır. Daha geniş kapsamda, rasgelelik içeren tüm çözüm yöntemlerine Monte Carlo yöntemleri denilmektedir. Bu isim ikinci dünya savaşı sırasında John von Neumann tarafından gizli yürütülen bir çalışmaya verilen isim olmakla birlikte Monte Carlo, Monaco'da bir şehir ismidir. Monte Carlo Simülasyonunun ilk kullanımı 1940 sonlarında Von Neumann ve Ulam'ın Los Alamos bilimsel laboratuvarındaki çalışmalarına dayanır. Bu laboratuvarla nötronların hareketlerini inceleyen bu iki bilim adamı karşılaştıkları matematiksel olarak çok karmaşık ve deneysel olarak çözümü çok pahalı olan nükleer savunma problemlerini çözmek için "Monte Carlo Analizi" adı altında bir yöntem geliştirdiler. Bugünkü anlamı ile simülasyon tekniğinin ilk kullanımı olan bu yöntem, olasılık dağılımları ile matematiksel problemi andıran bir stokastik faaliyet üzerinde denemeler yaparak çözüm yapmayı kapsar (Öztürk ve Özbek 2004).

Belirsizlik koşulları altında stokastik faaliyet gösteren sistemlerin Monte Carlo Simülasyon Modelini işletebilmek için iki temel işlem yapılması gerekir. Uniform (düzgün) dağılmış

rasgele sayıların türetilmesi ve bu rasgele sayıların istenilen özellikte rasgele değişimler oluşturmak üzere kullanılmasıdır (Öztürk ve Özbek 2004).

Monte Carlo yöntemi ile sistemde stokastik özellik gösteren değişkenler için rasgele sayıların, belirlenen olasılık dağılımlarından türetilmesi gerekir. Daha sonra bu rasgele sayılar ile istenilen özellikte rasgele değişimler, başka bir deyişle rasgele değişkenler oluşturulur. Stokastik modeller için rasgele değişimler yapay tablolardan veya parametreleri verilen teorik olasılık dağılımlarından elde edilir (Öztürk ve Özbek 2004).

Hidrolojik veriler stokastik bir yapı içerisinde rasgele olduklarından dolayı daima belli bir olasılık dağılımına uyar. Su kaynakları yönetimi tekniklerinde bir girdi gibi ele alınan bu veriler, yapay olarak türetilir ve su kaynakları sistemlerinin çeşitli senaryolara göre gösterdiği performans izlenmiş olur. Özellikle rezervuar işletmeciliğinde tahminlerde bulunmak ve rezervuarın işletmesi sırasında meydana gelebilecek herhangi bir eksiklik durumunun tespiti veya taşkınların meydana gelebileceğini öngörmekte sık sık başvurulanan Monte Carlo simülasyonu, bilgisayar programlarının genişletilmesi ile daha kullanışlı bir yöntem haline gelmiştir. Gerek barajın inşasından önce rezervuar işletme parametrelerinin tahmininde gerekse işletme sırasında tarihsel akım verilerine dayalı gelecekte çeşitli işletme politikaların vereceği sonuçları tahmin etmekte kullanılan Monte Carlo simülasyon yöntemi günümüze kadar çeşitli bilimsel araştırmalarda ve uygulamalarda dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada Sofi Çayı üzerinde inşa edilmiş Eleviyan rezervuarının nasıl bir işletme süreci geçirdiği ve hatta gelecekteki olasılıkların belirlenmesinde Monte Carlo simülasyon yöntemine (Öztürk ve Özbek 2004) başvurulmuştur.

3.2.2.1 Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi

Kolmogorov-Smirnov (K.S) testi, rasgele elde edilmiş örnek bir verinin belirli bir dağılıma uyup uymadığını test etmek amacıyla kullanılır. Prensipte olarak (K.S) testi örnek verinin kümülatif dağılım fonksiyonunun öne sürülen kümülatif dağılım

fonksiyonuyla karşılaştırılması esasına dayanır. Bu test yardımıyla bir örneklemden toplanan verilerin normal dağılım sergileyip sergilemediğini incelemek mümkündür.

Kolmogorov-Smirnov testi, Kolmogorov tarafından 1933 yılında önerilmiştir. Kolmogorov, tek örnek için uyumluluk testini önermiştir. 1939 yılında ise bir Rus matematikçisi olan Smirnov tarafından iki bağımsız örnek için uyum iyiliği testi geliştirilmiştir. Kolmogorov ve Smirnov testi benzerlik nedeniyle, uygulamada, Kolmogorov– Smirnov uyumluluk testleri olarak bilinir (Bircan *et al.* 2003).

Ki-Kare testinin uygulanabilmesi için beklenen frekansların 5’den büyük olması istenir. Kolmogorov-Smirnov testi böyle bir şarta dayanmadığı için kolayca uygulanabilmektedir. Ki-Kare testinde beklenen frekansların 5’ten büyük olması için ya örneklerin büyük hacimli olması gerekir (bu masraflı bir iştir), yada sınıflar birleştirilmek suretiyle beklenen frekansların 5’den büyük olması sağlanır. Bu durumda ise bilgi kaybı söz konusudur. Oysa Kolmogorov-Smirnov testinde beklenen frekanslar için bir alt limit söz konusu değildir (Bircan *et al.* 2003).

Kolmogorov-Smirnov uyumluluk testinde iki hipotez kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi sıfır hipotezinde belirtilen birikimli dağılım fonksiyonudur. İkincisi örnekten elde edilen gözlenen birikimli dağılım fonksiyonudur.

$X_1, X_2, \dots, X_n$ bir F (F bilinmiyor) dağılımdan alınan örnekleme olmak üzere

Kolmogorov-Smirnov Uyumluluk Testi

$$H_0 : F(x) = F_0(x) \quad (\forall x) \quad (3.10)$$

Hipotez “gözlenen frekanslar beklenen frekanslara uygundur” şeklinde kurulur.

$$H_1 : F(x) \neq F_0(x) \quad (\exists x) \quad (3.11)$$

Eşitlik 3.11 ile kurulan hipotez ise “gözlenen frekanslar beklenen frekanslara uygun değildir” şeklinde kurulur.

Test istatistiği D_n ile gösterilir. D_n ; gözlenen ve beklenen değerlerin birikimli oransal frekansları arasındaki mutlak farkın en büyüğüdür. Test istatistiği eşitlik 3.12 de verilmiştir.

$$D_n = \max \left| \hat{F}_n(x) - F_o(x) \right| \quad (3.12)$$

Bu dağılım ile ilgili tablo değerleri n ve $1-\alpha$ değerlerine bağlı D_{tablo} ile gösterildiğinde $D_n \succ D_{tablo}$ koşulu sağlanıyorsa H_0 hipotezi reddedilir. H_0 hipotezi kabul edilirse gözlenen frekansların beklenen frekanslara uygun olduğuna karar verilir (Öztürk ve Özbek 2004).

Sofî Çayı akım verilerinin hangi dağılıma uyduğunun tespiti için istatistiksel SYSTAT 11 yazılımı kullanılmıştır (Anonymous 2004). Bu yazılımda, akım verileri çeşitli dağılımlar üzerinde test edilmiştir. Pratikte yazılım tarafından hesaplanan K.S değerine bakılır ve en küçük K.S değeri olan dağılım, verileri en düzgün ifade eden dağılım olarak belirlenir (Bircan *et al.* 2003).

3.2.2.2 Dağılımlardan rasgele sayı türetilmesi

Düzgün (uniform) dağılıma sahip olmayan rasgele değişkenlerin dağılımlardan sayı türetmek için genelde ters dönüşüm yöntemine başvurulur. Çeşitli istatistik yazılımlarla önce rasgele değişkenin uyum sağladığı teorik dağılım belirlenir. Daha sonra o dağılımın parametrelerine dayalı rasgele sayılar türetilmiş olur.

F dağılım fonksiyonuna sahip bir X rasgele değişkenin dağılımında sayı türetmek için en çok kullanılan yöntemlerden biri, F dağılım fonksiyonun genelleştirilmiş tersi denen

$$F^- : (0,1) \rightarrow R$$

$$u \rightarrow F^-(u) = \inf \{x : F(x) \geq u\} \quad (3.13)$$

fonksiyonuna dayalı $X = F^-(U)$ dönüşümünü kullanmaktadır. Burada U rasgele değişkeni (0,1) aralığı üzerindeki düzgün (uniform) dağılıma yani $U(0,1)$ dağılımına sahiptir.

$$x \in \{F^-(u) : u \in (0,1)\} \quad \text{için} \quad F(F^-(u))u \quad \text{ve} \quad F^-(F(x)) \leq x \quad (3.14)$$

$$\{(u, x) : F^-(u) \leq x\} = \{(u, x) : F(x) \geq u\} \quad (3.15)$$

olmak üzere

$$P(F^-(U) \leq x) = P(U \leq F(x)) = F(x) \quad (3.16)$$

şeklindedir.

$F^-(U)$ rasgele değişkenin dağılım fonksiyonu F dir, yani $F^-(U)$ dönüşümü ile ortaya çıkan rasgele değişken X rasgele değişkenin kendisidir. $X = F^-(U)$ dönüşümü entegral

dönüşümü olarak bilinmektedir. $U(0,1)$ düzgün (uniform) dağılımdan türetilen sayılar entegral dönüşümü sonucunda X rasgele değişkenin dağılımından türetilmiş sayılar olacaktır. Böylece herhangi bir X rasgele değişkenin dağılımından sayı türetme işlemi çözülmüş gibi görünmektedir, ancak buradaki zorluk bazı dağılımlar için F^{-1} genelleştirilmiş ters fonksiyonu açık bir ifadesinin elde edilmesindedir. Örneğin $X \approx N(0,1)$ için,

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad x \in (0,1) \quad (3.17)$$

olmak üzere

$$F^{-1}(u) = F^{-1}(u), \quad u \in (0,1) \quad (3.18)$$

dır. $F^{-1}(u)$ değerleri u ya bağlı olarak açık bir şekilde kolayca yazılıp hesaplanmaktadır. X sürekli bir rasgele değişken olduğunda dağılımın destek kümesi üzerinde F artan bir fonksiyon olmakta ve bu durumda yukarıdaki dönüşüm $X = F^{-1}(U)$ biçimini almaktadır.

Bu durumda, $X = F^{-1}(U)$ rasgele değişkenin dağılım fonksiyonu eşitlik 3.19 da verilmiştir.

$$P(X \leq x) = P[F^{-1}(U) \leq x] = P[F(F^{-1}(U)) \leq F(x)] = P[U \leq F(x)] = F(x) \quad (3.19)$$

F dağılım fonksiyonunun F^{-1} ters fonksiyonunun değerlerinin hesaplanabilir olması durumunda sürekli bir X rasgele değişkenin dağılımından sayı türetmek için algoritma aşağıdaki gibidir.

1. $U(0,1)$ dağılımından U türetilir.

$$2. \quad X = F^{-1}(U) \quad (3.20)$$

Hesaplanır (Öztürk ve Özbek 2004).

Bu çalışmada rezervuar inşası öncesi yıllara ait rasgele akımların türetilmesinde önce uygun dağılımlar seçilmiş ve daha sonra uygun dağılımların parametrelerine göre Monte Carlo simülasyon yöntemi ile akımlar türetilmiştir.

3.2.3 Veri madenciliği yöntemi

Veri madenciliğinde yoğun olarak kullanılan istatistiksel yöntemlerden olan ve çalışmada kullanılan karar ağaçları yöntemi aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Karar ağaçları

Bir tahmin modeli olan karar ağaçları yöntemi kümeleme amacı için sık sık kullanılmaktadır. Yukarıdan aşağıya veri eğitimi sürecinde, genelden özele doğru bu ağaçlar oluşturulur.

Ağaçların kökleri birinci durumda tüm eğitilmiş örnekleri ihtiva etmektedir. Eğer tüm örnekler aynı kümede bulunursa o zaman geleceğe ilişkin karara gerek kalmadan çözüm sona ermiş olur. Eğer kök düğümünde olan örnekler iki veya daha fazla küme oluşturuyorsa, o zaman bu düğümde yapılacak test sonuçları ile kök düğümü bölünecektir. Dolayısıyla bu düğüm orta düğüm olacaktır. Bu süreç her yeni orta düğüm için tekrar yapılır ve en sonda bütünleşmiş ağaç düzeltilmiş olur. Bu durumda bir karar ağacı potansiyel olarak uygun bir çözümdür. Diğer bir deyişle ağaç elemanları eğitilmiş olan özel gürültüler (noise) ve aykırı değerleri sunabilir. Bu uyum sağlandıktan sonra, çoklu karar ağaçları yöntemleri budama denilen aşamada alt-ağaçları elimine ederek daha belirli karar ağacına ulaşılır. Hataları tahmin etme teknikleri ağacı budama aşamasında önemli rol oynamaktadır. Çoklu modern karar ağaçları modelleri hem tüm ağaç kolların ayırma ve hem gürültüleri budama özel kriterlerin kendi içinde barındırmaktadır. Birkaç otomatik karar ağacı düzeltme teknikleri dışında, rezervuarda kontrol kurallarının çıkarılmasında, C5.0 algoritmasına dayalı See5 yazılımı kullanılmaktadır (Anonymous 2008). C5.0 algoritması önceden tanınmış ID3 adlı karar ağaçları sisteminin bir uzantısıdır. ID3 algoritması entropi kriterini ağacın kollarının ve düğümlerin ayrışımında kullanır. Her bir t düğümü için ayrışma kriteri eşitlik 3.21' de verilmiştir.

$$Entropi = \sum_i -p_i \log p_i \quad i=1,2,... \quad (3.21)$$

Eşitlikteki P_i i-inci kümenin t düğümündeki olasılığıdır. Bir nitelik ve ayrışım minimum entropi olduğunda yapılır. Budama için See5 önem testi ana düğümlerle çocukların arasında yeşil ağacın tümünde yapılır, test sonucunda çocuklarla ana arasında önemli fark olmadığında çocuklar budanır (Sudha *et al.* 2006).

İstatistiksel yöntemlerde veya yapay sinir ağlarında veriden bir fonksiyon öğrenildikten sonra bu fonksiyonun insanlar tarafından anlaşılabilen bir kural olarak yorumlanması zordur. Karar ağaçları ise veriden oluşturulduktan sonra ağaç kökten yaprağa doğru inilerek kurallar “Eğer-ise” biçiminde yazılabilir. Bu şekilde kural çıkarma, veri madenciliği çalışmasının sonucunun doğrulanmasını sağlar. Bu kurallar, uygulama konusunda uzman bir kişiye gösterilerek sonucun anlamlı olup olmadığı denetlenebilir. Sonradan başka bir teknik kullanılacak olsa bile karar ağacı ile önce bir kısa çalışma yapmak, önemli değişkenler ve yaklaşık kurallar konusunda araştırmacıya bilgi verir ve daha sonraki analizler için yol gösterici olabilir. M5 ağaç modeli ise bilgi teorisi temellerine dayalı bir yöntem gibi çok boyutlu parametre uzayını küçük kısımlara bölerek, her bölüm için ayrı ayrı model oluşturur. Bu modellerin kombinasyonu farklı koşullara göre sistemin durumunu belirtir (Solomatine *et al.* 2003).

Quinlan (1993) tarafından geliştirilen C5.0 algoritmasına göre karar ağacının inşasında ilk etapta veri seti eğitilir.

Karar ağacının oluşturulmasındaki algoritmalar aşağıda verilmiştir.

- Temel algoritma
 1. Ağaç baştan ayağa doğru kollar ve budaklarla tekrarlanarak inşa edilir.
 2. Başlangıçta, tüm eğitim örneklerinin hepsi kökte toplanır.
 3. Özellikler kategoriktir (eğer değerler sürekli ise onlar kesikli hale dönüşür).
 4. Örnekler seçilmiş özelliklere dayalı parça veya hisselerle ayrılır.
 5. Test özellikleri istatistik ölçümlere dayalı seçilir (Bilgi kazancı entropisi “Information gain”).
- Parça veya hisselerle ayırma koşullarına göre olan algoritmalar
 1. Belli bir düğüm de olan bütün örnekler aynı sınıfı içermektedir.
 2. Eğer uzaktaki bölmelere özellik kalmazsa oylama yaprakların sınıflandırması için yapılır.
 3. Hiçbir örnek terk edilmez.

Quinlan (1993) tarafından geliştirilen (ID3/C5.0) algoritmasına göre karar ağacının oluşumu sırasında etkin özelliklerin seçiminde bilgi teorisine dayalı veri setleri arasında olan belirsizliği yansıtan “Information gain” değerleri hesaplanır. Yapılan işlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- En yüksek “Information gain” miktarı olan özellik seçilir
- D veri setinde isteğe bağlı bulunan her bir veri setinin (tuple), C_i sınıfında bulunma olasılığı p_i olarak tanımlanır ve $|C_i, D|/|D|$ eşitliği ile hesap edilir.
- D veri setinde isteğe bağlı bulunan her bir veri setinin (tuple) sınıflandırılmasında beklenen bilgi (entropi) miktarının hesaplanmasına ihtiyaç vardır. Bu değer eşitlik 3.22 yardımı ile hesaplanır.

$$Info(D) = -\sum_{i=1}^m p_i \log_2(p_i) \quad (3.22)$$

- A özelliğinden D veri setinin V bölüme ayrılmasında kullandıktan sonra D veri setinin sınıflandırması için ihtiyaç duyulan bilgi eşitlik 3.23 ile hesaplanır.

$$Info_A(D) = \sum_{j=1}^v \frac{|D_j|}{|D|} \times I(D_j) \quad (3.23)$$

- A özelliğinin dallanması ile bilgi elde edilir. Gain (A) dediğimiz bu bilgi yukarıda hesaplanan bilgilerin farkı olarak tanımlanır ve eşitlik 3.24 ile hesaplanır (Han and Kamber 2006).

$$Gain(A) = Info(D) - Info_A(D) \quad (3.24)$$

Eğer bir özellik kesikli değil sürekli değerleri içeriyorsa o zaman “Information gain” hesaplanma yöntemi farklı bir şekilde uygulanacaktır. A özelliğini sürekli değerleri içeren bir özellik olarak düşünelim. A özelliği için en iyi bölünme noktaları belirlenmeli ve aşağıdaki aşamalar yürütülmelidir (Han and Kamber 2006).

1. A özelliği değerleri gittikçe artacak bir biçimde dizilmelidir
2. Tipik olarak, iki çift bitişik veri içinde olan orta nokta olası bölünme noktası olarak dikkate alınır
 - $(a_i + a_{i+1})/2$ değeri a_i ve a_{i+1} değerleri arasında olan orta nokta olarak alınır
3. Gereken minimum beklenen bilgi noktası A özelliğinde ayrışma noktasıdır.

Ayrırmak veya bölmek için D1 veri seti $A \leq$ ayrışım-nokta ve D2 veri set $A >$ ayrışım-nokta tatmin eder (Han and Kamber 2006).

“Information gain” ölçümü çok sayıda değeri olan özelliklere yöneliktir. C5.0 (ID3 gelişmiş) sorunlara (Information gain’in normalleştirilmesi) üstün gelmesi için nispi gain kullanır.

$$SplitInfo_A(D) = - \sum_{j=1}^v \frac{|D_j|}{|D|} \times \log_2 \left(\frac{|D_j|}{|D|} \right) \quad (3.25)$$

$$GainRatio(A) = Gain(A)/SplitInfo(A) \quad (3.26)$$

Karar ağacının oluşturulmasında karşılaşılan sorunlardan birisi de oluşum sırasında eğitim verilerinin örtünülebilir olmasıdır. Bu durumlarda birçok dalda, hatalı ve aykırı değerlerden dolayı anormallik görülebilir. Bu anormallik sonucunda fark edilmemiş örnekler için doğruluk oranı düşebilir. Örtüşmeyi önlemek için iki yöntem bulunmaktadır (Han and Kamber 2006).

1. Ön budama: Ağacın oluşturulmasında fazla dallanmadan önce yapılır. Ancak bir düğümün ayrılması sonucu iyilik ölçümü eşik düzeyinin (threshold) altına düşerse, o zaman o düğüm ayrılmamalıdır. Uygun eşik değerinin seçimi zor olabilir. Bu çalışmada kullandığımız veri madenciliği yazılımı See5’in ürettiği karar ağaçlarının budamasında bu yöntemden yararlanmaktadır.
2. Son budama: “dallanmış ağaç”tan budakların kaldırılması ile yapılır. Bu işlem sürekli gelişen budanmış ağaç ile mümkündür. Böylece farklı eğitim verilerin seçimi ile “en uygun budanmış ağaç” hakkında karar verilebilir (Han and Kamber 2006).

Karar ağacının iyileştirilmesi için üç faktöre dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlardan birisi sürekli değerleri içeren özelliklerin modelin inşası ve kullanımında göz önünde tutulmasıdır. Bunun için sürekli özellik değerleri kesikli periyotlara bölünmelidir. Dinamik olarak yeni kesikli değerleri olan özelliklerin belirlenmesi gerekir. İkincisi ise her özellikte olan kayıp değerlerin çözümüdür. Bunun için özellikte bulunan yaygın değerlerin işaretlenmesi ve her olası değer için olasılığın işaretlenmesi gerekmektedir. Üçüncü faktör ise özelliğin inşasıdır. Bu aşamada mevcut durumun yeniden sunumu

için yeni özelliklerin ortaya konması gerekir. Bu işlem parçalanmayı, tekrarlanmayı ve yenilenmeyi azaltabilir (Sudha *et al.* 2006).

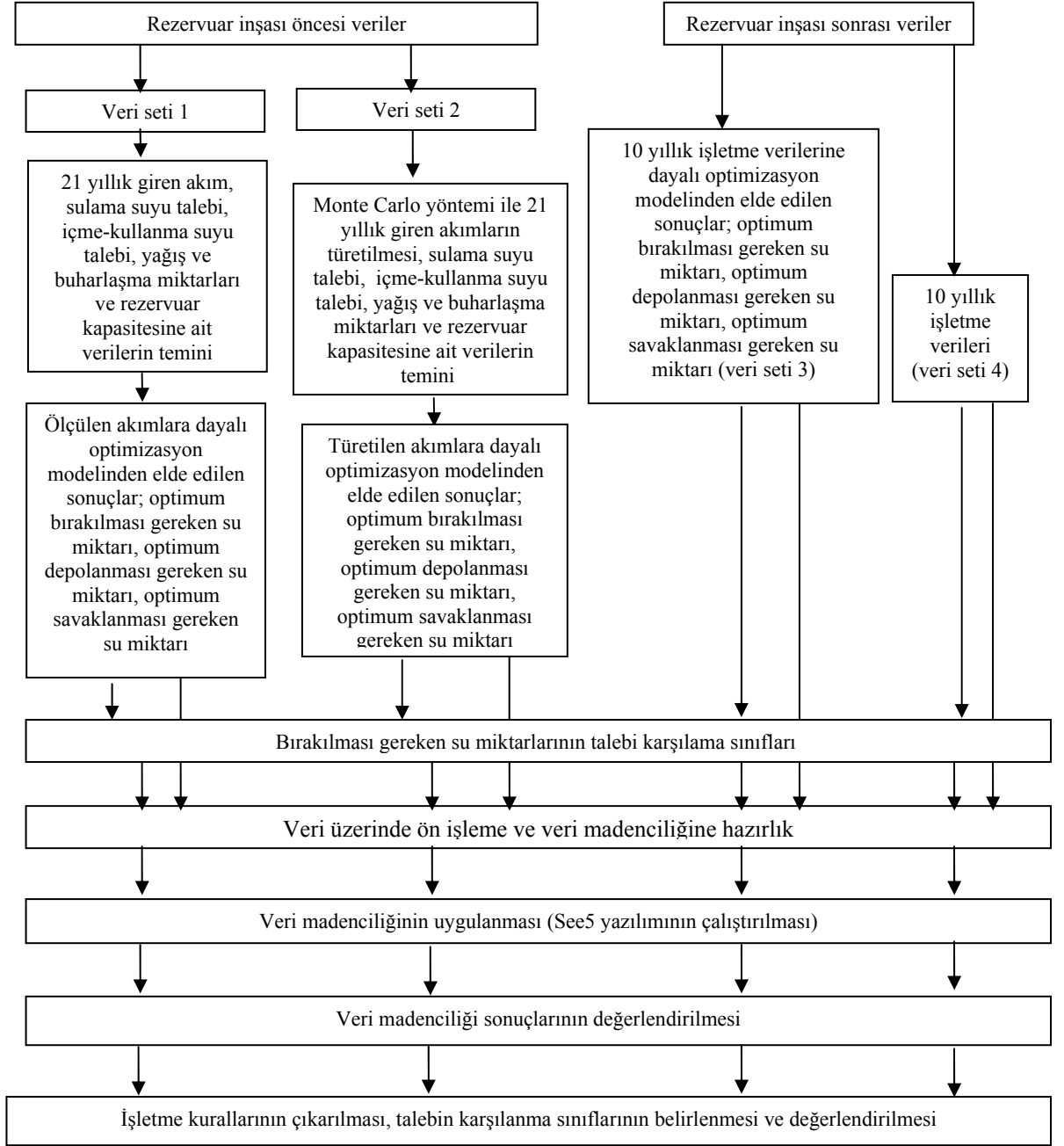
Bu çalışmada See5 yazılımı ile çeşitli veri setleri kullanılarak oluşturulmuş karar ağaçlarından optimum işletme kuralları “eğer-ise” biçiminde çıkarılmıştır.

Verilerin hazırlanması

Veri madenciliğinde modelin kurulmasında veriler iki bölüme ayrılır. Birinci bölüm eğitim ve ikinci bölüm ise test amaçlıdır. Veri eğitimi gözetmenli (supervised) ve gözetmensiz (unsupervised) eğitim şeklinde yapılabilir. Gözetmenli eğitimde (sınıflama) eğitilen verilere (gözlemler, ölçümler vs.) gözlemlerin sınıflarını belirten etiketler eklenir ve sonra yeni veriler eğitilmiş veri setlerine dayalı sınıflanır. Gözetmensiz eğitimde (kümeleme) eğitim verilerinin sınıf etiketleri önceden belli değildir. Gözlenmiş ve ölçülmüş veri setlerinde sınıf etiketleri mevcut sınıflar veya kümelerin yardımı ile tespit edilir (Han and Kamber 2006).

Çalışmada yürütülen süreç ve veri setlerine göre yapılan veri madenciliği işleminin akış şeması şekil 3.3’te verilmiştir.

Şekil 3.3’te birinci ve ikinci veri seti rezervuar inşası öncesine (21 yıllık), üçüncü ve dördüncü veri setleri ise rezervuar inşası sonrası (10 yıllık) döneme ait verileri kapsamaktadır. Birinci veri seti 21 yıllık ölçülen akım verilerini, ikinci veri seti 21 yıllık türetilen akım verilerinin kapsamaktadır. Üçüncü veri seti rezervuar inşası sonrası 10 yıllık döneme ait ölçülen akım verilerini ve dördüncü veri seti ölçülmüş işletme verilerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.3 Çalışmada yürütülen süreç ve farklı veri setlerinde veri madenciliği sürecinin akış şeması

Veri madenciliğinin en önemli aşaması verilerin hazırlanmasıdır (Han and Kamber, 2006). Diğer aşamalar ise; veri seçimi, ön işleme, veri madenciliği ve yorumlamadır. Veri madenciliği modeli niteliklerle ifaden edilen veri setleri analizine dayalıdır. Veri setleri önceden belirlenmiş sınıfları içerir. Sınıf niteliği etiketi adı ile tanımlanan bu sınıfları bir nitelik belirler. Veri setleri eğitildikten sonra modelin düzeltilmesi için

analiz edilir. Rezervuar işletmesi çalışmaları modelinde ayın başlangıcında olan bilgilere dayalı çekilen su miktarının tahminine ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer akım tahmin modeli yoksa, karar ağaçları üretiminde aranan nitelikler; geçmiş ayların akımı, başlangıç depo ve çekilen su miktarı değerleri olacaktır. İhtiyaç duyulan çıktı çekilen su miktarları olup ‘sınıf niteliği etiket’ olarak alınır. Eğitime seçilen veri setleri çeşitlendirilmek için yeniden hazırlanmalıdır, öte yandan eğer olayların % 95’i aynı sınıfa ayrılırsa algoritma o sınıfı varsayılan sınıf olarak tahmin edecektir. Çekilen su miktarı niteliği sınıf etiketi niteliği gibi alınır ve bu sürekli olduğundan dolayı optimizasyon sonuçları analizi yapılarak karşılanacak taleplerin oranlarına göre çizelge 3.18’ deki gibi sınıflara ayrılır.

Çizelge 3.18 Talebi karşılama oranları ve sınıflandırılması

Talebi karşılama oranı (%)	100–91	90–81	80–71	70–61	60’dan az
Sınıf	Tam	Yüksek	Orta	Az	Hiç

Eleliyan rezervuarında Şubat ayında sulama suyuna ihtiyaç olmadığından rezervuar inşası öncesi döneme ait işletme kurallarında “sulama suyuna ihtiyaç yoktur” sınıfı dikkate alınmıştır. Şubat ayında sulama suyuna talep olmadığından “sulama suyuna ihtiyaç yoktur” sınıfı çizelge 3.18’e dahil edilmemiştir.

Sistemde belirli bir ay için sulama amaçlı çekilen su miktarı yalnız bitkinin su taleplerine dayalıdır, dolayısı ile işletme kuralı modeli sulama suyuna ihtiyaç duyulan aylar için hazırlanmaktadır. Bu çalışmada aşağıdaki parametreler rezervuar işletmesinde önemli etmenler olarak alınmıştır.

1. Rezervuara giren akım (I), hm^3
2. Rezervuara yıllık toplam giren akım (Toplam I), hm^3
3. Rezervuarda depolanan su miktarı (ST), hm^3
4. Talep edilen su miktarı (DE), hm^3
5. Bulduğumuz ayla bir önceki ayda depolanan su miktarında olan değişim (FS1), hm^3

6. Bulunduğumuz ayda bir önceki yılın aynı ayına göre depolanan su miktarındaki değişim (FS12), hm^3
7. Zaman (ay)
8. Talebi karşılama sınıfı

Çalışmada tüm veri setlerinden hesaplanan bırakılan su miktarları talep edilen su miktarlarına bölünerek, çizelge 3.18 yardımı ile sınıflandırılmıştır. Elde edilen bu talebi karşılama sınıfları veri madenciliği modelinden belirlenen sınıflarla karşılaştırılmıştır.

Çalışmada veri madenciliğinde kullanılacak (FS1) ve (FS12) tüm veri setlerinde hesaplanmış ve çizelge 3.19-3.26 da verilmiştir. Bazı aylarda görülen ? işareti o ayla bir önceki aya ait depolanan su miktarının olmadığından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 3.19 FS1 miktarları (veri seti 1)

Su yılı	Aylar (hm^3)											
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1973-1974	?	-4.56	-0.11	-0.81	0.03	0.00	0.00	17.04	29.21	4.76	-23.69	-20.51
1974-1975	22.47	-4.27	-0.70	-1.18	0.77	2.93	2.99	9.84	11.73	-3.56	-20.59	-21.59
1975-1976	-0.82	-2.59	-0.30	-1.96	0.03	0.01	-0.01	0.00	30.28	16.17	-15.47	-23.02
1976-1977	11.14	-2.89	-0.94	-1.94	0.07	2.01	12.97	18.34	10.22	-11.73	-25.53	-19.74
1977-1978	4.37	-4.26	0.00	-0.10	0.03	0.00	0.00	0.00	14.70	27.08	-13.39	-21.25
1978-1979	42.99	-7.14	-1.15	-0.77	0.64	1.20	4.13	9.34	0.56	-19.77	-19.37	-17.85
1979-1980	3.70	-3.68	0.61	-0.47	-0.15	0.03	0.00	0.00	56.96	-5.72	-24.30	-21.78
1980-1981	-0.87	-3.48	0.54	-1.38	0.02	0.01	0.00	0.00	22.94	21.21	-15.57	-21.45
1981-1982	10.34	-4.57	0.19	-1.05	0.19	2.64	1.97	15.04	25.08	-16.76	-22.41	-17.83
1982-1983	39.93	-5.35	-1.76	-1.57	1.05	1.83	1.44	9.83	11.60	-11.51	-25.91	-19.58
1983-1984	51.57	-6.83	-1.39	-0.13	-0.65	1.59	3.90	5.86	3.06	-6.45	-22.46	-22.71
1984-1985	-1.28	-4.07	0.68	-0.67	0.02	0.00	0.00	24.79	30.48	-4.77	-22.23	-20.87
1985-1986	26.02	-6.09	-1.42	-1.54	0.29	1.67	2.12	13.89	13.81	-6.76	-21.12	-21.77
1986-1987	-2.51	-3.55	0.43	-0.88	0.03	0.00	0.00	14.55	30.69	-2.71	-19.74	-16.65
1987-1988	-2.60	-3.57	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.56	8.88	-13.35	-22.36
1988-1989	39.23	-6.66	-1.39	-1.62	4.75	5.14	5.10	4.67	-2.11	-25.73	-22.58	-6.58
1989-1990	41.52	-7.52	-1.48	-1.10	-0.86	0.49	3.62	5.63	16.70	-13.68	-23.74	-17.18
1990-1991	44.29	-8.20	-1.53	-1.00	0.48	1.70	1.51	9.49	7.85	-21.59	-21.52	-13.89
1991-1992	4.11	-4.09	0.44	-0.20	-0.25	0.03	0.00	0.00	24.73	22.25	-18.04	-22.91
1992-1993	-3.63	-2.34	1.77	-1.81	0.11	0.25	-0.42	17.87	32.07	4.50	-24.98	-22.49
1993-1994	-3.99	-2.97	0.39	-0.39	1.66	4.22	7.29	17.88	25.93	-7.31	-20.63	-22.35

Çizelge 3.20 FS12 miktarları (veri seti 1)

Su yılı	Aylar (hm ³)											
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1973-1974	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
1974-1975	23.83	24.12	23.52	23.14	23.89	26.82	29.81	22.61	5.13	-3.19	-0.09	-1.17
1975-1976	-24.45	-22.77	-22.36	-23.14	-23.89	-26.81	-29.81	-39.65	-21.09	-1.36	3.76	2.33
1976-1977	14.29	13.99	13.34	13.37	13.41	15.42	28.40	46.73	26.68	-1.22	-11.28	-8.01
1977-1978	-14.78	-16.15	-15.21	-13.36	-13.41	-15.42	-28.39	-46.73	-42.26	-3.45	8.69	7.18
1978-1979	45.80	42.93	41.78	41.11	41.72	42.92	47.05	56.39	42.26	-4.59	-10.57	-7.18
1979-1980	-46.47	-43.02	-41.26	-40.96	-41.74	-42.92	-47.05	-56.39	0.00	14.06	9.13	5.20
1980-1981	0.63	0.83	0.76	-0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	-34.02	-7.09	1.64	1.98
1981-1982	13.18	12.10	11.75	12.07	12.24	14.88	16.84	31.88	34.02	-3.95	-10.79	-7.18
1982-1983	22.41	21.63	19.69	19.17	20.03	19.22	18.69	13.48	0.00	5.25	1.74	0.00
1983-1984	11.64	10.16	10.53	11.98	10.28	10.04	12.51	8.54	0.00	5.05	8.50	5.37
1984-1985	-47.48	-44.73	-42.66	-43.21	-42.54	-44.14	-48.04	-29.11	-1.69	-0.01	0.22	2.07
1985-1986	29.36	27.34	25.24	24.37	24.64	26.31	28.43	17.53	0.86	-1.12	-0.01	-0.91
1986-1987	-29.44	-26.90	-25.05	-24.38	-24.64	-26.31	-28.43	-27.77	-10.89	-6.85	-5.46	-0.34
1987-1988	-0.42	-0.44	-0.84	0.03	0.00	0.00	0.00	-14.55	-10.68	0.91	7.30	1.58
1988-1989	43.42	40.32	38.91	37.30	42.05	47.19	52.29	56.96	20.29	-14.31	-23.55	-7.77
1989-1990	-5.49	-6.35	-6.44	-5.92	-11.53	-16.18	-17.66	-16.70	2.11	14.15	12.99	2.40
1990-1991	5.17	4.49	4.44	4.55	5.89	7.10	4.99	8.86	0.00	-7.90	-5.68	-2.40
1991-1992	-42.57	-38.47	-36.50	-35.70	-36.43	-38.10	-39.62	-49.11	-32.22	11.61	15.10	6.08
1992-1993	-1.66	0.08	1.41	-0.20	0.16	0.38	-0.03	17.84	25.17	7.42	0.48	0.90
1993-1994	0.54	-0.09	-1.46	-0.05	1.51	5.48	13.18	13.19	7.05	-4.76	-0.42	-0.28

Çizelge 3.21 FS1 miktarları (veri seti 2)

Su yılı	Aylar (hm ³)											
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1973-1974	?	-1.91	0.44	-0.21	-0.35	0.03	0.00	0.01	48.62	-9.79	-14.96	-16.74
1974-1975	-0.17	-5.17	0.31	-2.14	0.03	0.00	0.00	0.00	41.23	13.71	-25.08	-22.66
1975-1976	-4.26	-2.96	0.04	0.56	-0.59	0.02	0.00	18.90	35.08	-0.17	-24.66	-22.66
1976-1977	30.73	-6.11	-0.56	-3.56	1.57	2.22	5.57	9.34	11.26	-11.91	-20.03	-20.69
1977-1978	19.91	-5.46	-0.89	-0.28	1.62	1.39	2.43	16.45	17.45	-11.08	-22.79	-21.57
1978-1979	1.73	-3.27	1.62	-0.90	1.82	1.54	2.58	22.34	27.98	-25.06	-17.97	-13.97
1979-1980	3.33	-3.18	0.53	-0.67	0.03	0.00	0.00	13.95	33.26	5.79	-23.55	-22.17
1980-1981	15.03	-4.79	0.67	-1.54	-0.84	3.09	2.81	21.01	14.24	-8.08	-26.54	-21.91
1981-1982	3.97	-4.42	1.89	-1.10	0.45	2.60	6.87	7.46	38.81	-13.86	-22.97	-18.78
1982-1983	1.88	-3.25	0.37	-0.35	0.72	2.39	0.78	10.04	27.47	12.29	-24.70	-22.04
1983-1984	25.66	-6.63	-0.52	-2.24	0.37	1.12	2.54	8.14	21.55	-13.87	-19.20	-19.47
1984-1985	-0.58	-1.69	-1.01	-0.80	-0.37	0.03	0.00	8.33	42.93	-0.91	-18.21	-24.33
1985-1986	29.33	-6.53	-1.11	-2.00	1.26	2.88	3.72	9.45	12.17	-17.67	-14.91	-22.74
1986-1987	29.31	-5.97	-0.79	-2.00	0.52	2.36	3.49	10.46	17.95	-15.01	-22.28	-19.71
1987-1988	16.21	-3.99	1.07	-0.47	1.70	1.08	6.61	17.88	16.91	-21.52	-24.01	-11.48
1988-1989	31.75	-5.56	-0.31	-1.33	-0.18	2.64	1.63	17.82	10.54	-9.93	-23.12	-22.21
1989-1990	3.69	-3.08	0.63	-1.20	1.99	4.19	1.76	25.07	22.22	-10.62	-22.98	-21.33
1990-1991	2.99	-4.34	0.60	-1.30	0.01	0.02	0.00	0.00	45.41	1.32	-14.55	-23.90
1991-1992	-5.21	-3.09	0.46	-0.37	-0.09	1.19	3.02	24.70	28.09	-11.17	-22.02	-21.05
1992-1993	0.23	-2.97	0.03	-0.01	0.00	0.00	0.00	12.88	17.55	18.39	-18.99	-23.15
1993-1994	-2.55	-4.03	-0.07	-0.06	0.03	0.00	0.00	23.46	33.49	-12.45	-20.86	-21.18

Çizelge 3.22 FS12 miktarları (veri seti 2)

Su yılı	Aylar (hm ³)											
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1973-1974	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
1974-1975	4.96	1.70	1.58	-0.35	0.03	0.00	0.00	-0.01	-7.40	16.10	5.98	0.06
1975-1976	-4.03	-1.82	-2.10	0.60	-0.02	0.00	0.00	18.90	12.75	-1.13	-0.71	-0.70
1976-1977	34.28	31.13	30.53	26.42	28.59	30.79	36.35	26.79	2.98	-8.77	-4.13	-2.16
1977-1978	-12.98	-12.33	-12.65	-9.38	-9.33	-10.16	-13.30	-6.19	0.00	0.84	-1.92	-2.81
1978-1979	-20.99	-18.80	-16.29	-16.92	-16.71	-16.57	-16.42	-10.53	0.00	-13.99	-9.17	-1.56
1979-1980	0.04	0.13	-0.96	-0.73	-2.52	-4.06	-6.64	-15.02	-9.74	21.12	15.53	7.33
1980-1981	19.03	17.42	17.56	16.69	15.82	18.91	21.72	28.77	9.74	-4.13	-7.12	-6.86
1981-1982	-17.92	-17.56	-16.34	-15.89	-14.60	-15.09	-11.03	-24.58	0.00	-5.78	-2.21	0.92
1982-1983	-1.17	0.00	-1.51	-0.76	-0.49	-0.70	-6.80	-4.21	-15.55	10.60	8.87	5.62
1983-1984	29.39	26.01	25.12	23.23	22.89	21.62	23.38	21.47	15.55	-10.62	-5.12	-2.55
1984-1985	-28.79	-23.85	-24.34	-22.90	-23.65	-24.73	-27.27	-27.08	-5.71	7.26	8.25	3.39
1985-1986	33.30	28.45	28.35	27.14	28.78	31.62	35.34	36.46	5.71	-11.05	-7.76	-6.17
1986-1987	-6.18	-5.61	-5.29	-5.29	-6.04	-6.56	-6.79	-5.78	0.00	2.66	-4.71	-1.68
1987-1988	-14.78	-12.80	-10.94	-9.41	-8.23	-9.51	-6.39	1.04	0.00	-6.50	-8.23	0.00
1988-1989	15.55	13.97	12.58	11.72	9.85	11.41	6.44	6.38	0.00	11.59	12.47	1.74
1989-1990	-26.32	-23.84	-22.90	-22.77	-20.60	-19.05	-18.92	-11.68	0.00	-0.70	-0.55	0.33
1990-1991	-0.37	-1.64	-1.66	-1.76	-3.75	-7.91	-9.68	-34.74	-11.54	0.40	8.83	6.26
1991-1992	-1.95	-0.70	-0.83	0.10	0.00	1.16	4.18	28.87	11.54	-0.95	-8.42	-5.57
1992-1993	-0.12	0.00	-0.44	-0.07	0.03	-1.16	-4.18	-15.99	-26.53	3.03	6.07	3.97
1993-1994	1.18	0.12	0.03	-0.03	0.00	0.00	0.00	10.58	26.53	-4.31	-6.19	-4.22

Çizelge 3.23 FS1 miktarları (veri seti 3)

Su yılı	Aylar (hm ³)											
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1997-1998	?	-0.03	0.01	0.00	0.00	0.54	13.46	21.00	20.09	-8.09	-20.17	-19.24
1998-1999	49.36	-8.15	-1.76	-2.11	0.45	2.07	2.94	5.05	-5.43	-25.69	-21.99	-2.36
1999-2000	57.00	-9.55	-2.54	-2.29	-0.14	1.69	2.80	6.20	-3.72	-27.00	-19.83	-2.63
2000-2001	57.00	-8.81	-2.62	-2.32	-0.48	1.24	5.39	1.61	-3.74	-26.27	-19.00	-2.00
2001-2002	10.03	-5.57	-0.44	-0.58	0.81	2.71	9.07	18.99	21.97	-9.55	-23.21	-21.75
2002-2003	3.14	-4.89	0.10	-0.82	0.03	0.00	0.00	28.54	28.41	-13.98	-24.50	-18.52
2003-2004	9.00	-4.86	1.74	-0.64	0.80	2.30	12.69	11.76	24.20	-9.94	-22.15	-21.31
2004-2005	24.67	-7.15	-0.04	-1.62	-0.34	2.45	6.47	18.43	10.53	-21.59	-22.56	-12.86
2005-2006	13.05	-6.03	-0.75	-2.10	0.15	3.24	8.94	22.88	17.62	-22.18	-23.67	-11.14
2006-2007	2.51	-2.49	1.99	-1.99	0.02	0.62	4.64	18.08	33.62	-20.53	-22.42	-14.05

Çizelge 3.24 FS12 miktarları (veri seti 3)

Su yılı	Aylar (hm ³)											
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1997-1998	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
1998-1999	56.94	48.82	47.04	44.93	45.39	46.92	36.39	20.44	-5.09	-22.69	-24.51	-7.64
1999-2000	0.00	-1.39	-2.17	-2.35	-2.94	-3.32	-3.46	-2.31	-0.60	-1.90	0.26	0.00
2000-2001	0.00	0.74	0.66	0.63	0.29	-0.16	2.43	-2.16	-2.18	-1.45	-0.63	0.00
2001-2002	-46.97	-43.73	-41.55	-39.81	-38.51	-37.04	-33.36	-15.99	9.73	26.45	22.24	2.49
2002-2003	-4.40	-3.73	-3.20	-3.44	-4.22	-6.93	-16.00	-6.44	0.00	-4.44	-5.72	-2.49
2003-2004	3.37	3.41	5.05	5.23	6.00	8.30	20.99	4.21	0.00	4.04	6.39	3.60
2004-2005	19.28	16.99	15.20	14.22	13.08	13.23	7.01	13.68	0.00	-11.65	-12.05	-3.60
2005-2006	-15.22	-14.10	-14.81	-15.29	-14.80	-14.01	-11.55	-7.09	0.00	-0.60	-1.71	0.00
2006-2007	-10.54	-7.00	-4.26	-4.15	-4.28	-6.90	-11.20	-16.00	0.00	1.65	2.90	0.00

Çizelge 3.25 FS1 miktarları (veri seti 4)

Su yılı	Aylar (hm ³)											
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1997-1998	?	-0.25	-5.40	-4.96	1.93	4.47	18.66	24.11	-4.43	-8.37	-20.57	-6.52
1998-1999	-0.76	-0.57	0.63	7.08	-4.02	3.26	9.79	6.55	-7.39	-6.67	-7.09	-5.90
1999-2000	-1.45	0.11	0.25	0.96	1.73	2.41	9.33	8.52	-6.01	-7.45	-8.11	-3.71
2000-2001	-0.06	1.19	1.81	1.80	1.79	3.40	9.46	3.64	-5.19	-5.91	-6.40	-4.22
2001-2002	-0.21	1.06	2.14	3.67	2.86	6.22	18.15	16.71	-0.30	-4.64	-10.89	-9.30
2002-2003	-1.98	-0.76	-0.94	2.18	1.92	3.94	15.22	4.14	-3.68	-8.87	-12.00	-10.37
2003-2004	-1.48	0.70	-0.69	1.84	2.21	7.05	7.43	17.62	1.12	-5.50	-13.68	-13.10
2004-2005	-2.94	0.48	1.93	0.96	1.08	1.83	10.05	15.80	-5.56	-11.96	-14.90	-9.11
2005-2006	-1.59	-0.05	0.18	1.40	2.42	5.59	19.53	17.39	-7.50	-14.19	-15.64	-10.28
2006-2007	-0.8	4.33	1.52	1.16	1.62	2.90	12.11	22.59	-4.01	-15.65	-15.21	-9.92

Çizelge 3.26 FS12 miktarları (veri seti 4)

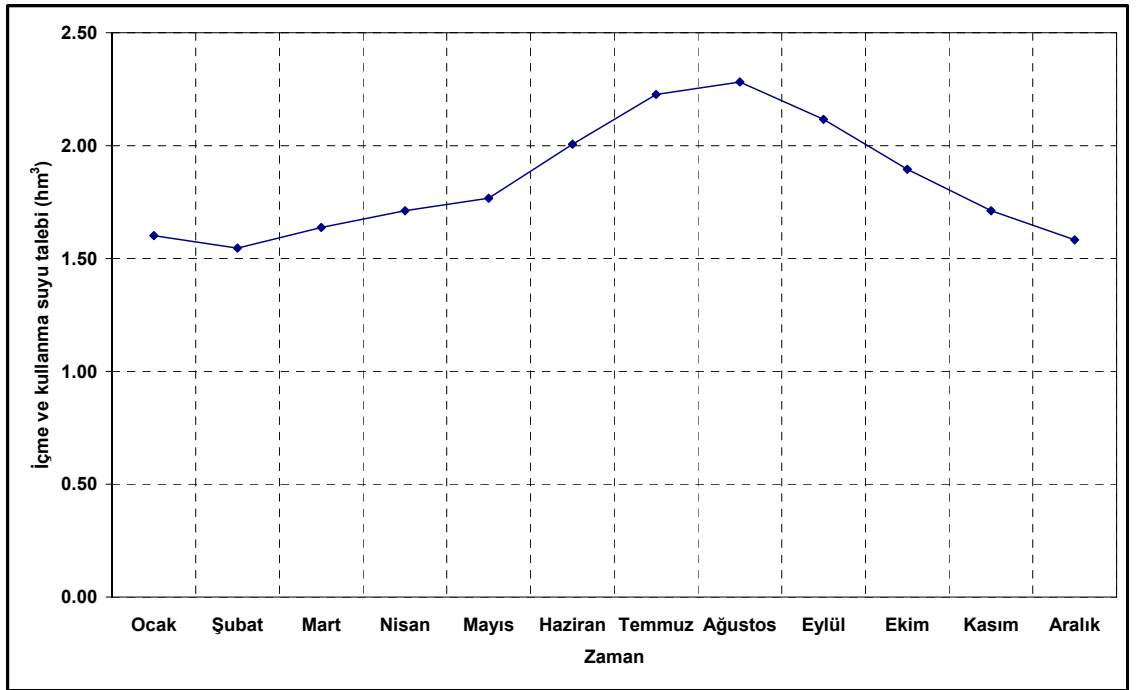
Su yılı	Aylar (hm ³)											
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1997-1998	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
1998-1999	-2.08	-2.40	3.62	15.66	9.71	8.50	-0.36	-17.93	-20.88	-19.18	-5.70	-5.08
1999-2000	-5.77	-5.08	-5.46	-11.58	-5.82	-6.67	-7.13	-5.16	-3.78	-4.56	-5.58	-3.39
2000-2001	-2.01	-0.93	0.62	1.47	1.52	2.51	2.63	-2.26	-1.44	0.09	1.80	1.28
2001-2002	1.14	1.02	1.34	3.21	4.28	7.10	15.79	28.86	33.76	35.03	30.54	25.47
2002-2003	23.69	21.87	18.80	17.30	16.37	14.09	11.16	-1.41	-4.79	-9.02	-10.13	-11.20
2003-2004	-10.70	-9.24	-8.99	-9.33	-9.04	-5.94	-13.72	-0.24	4.56	7.92	6.25	3.52
2004-2005	2.07	1.85	4.47	3.59	2.46	-2.76	-0.15	-1.97	-8.66	-15.11	-16.33	-12.34
2005-2006	-11.00	-11.53	-13.28	-12.83	-11.50	-7.74	1.74	3.33	1.39	-0.84	-1.58	-2.75
2006-2007	-1.96	2.42	3.76	3.52	2.72	0.04	-7.39	-2.19	1.31	-0.15	0.28	0.64

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Çalışmada elde edilen sonuçlar alt başlıklar halinde ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir.

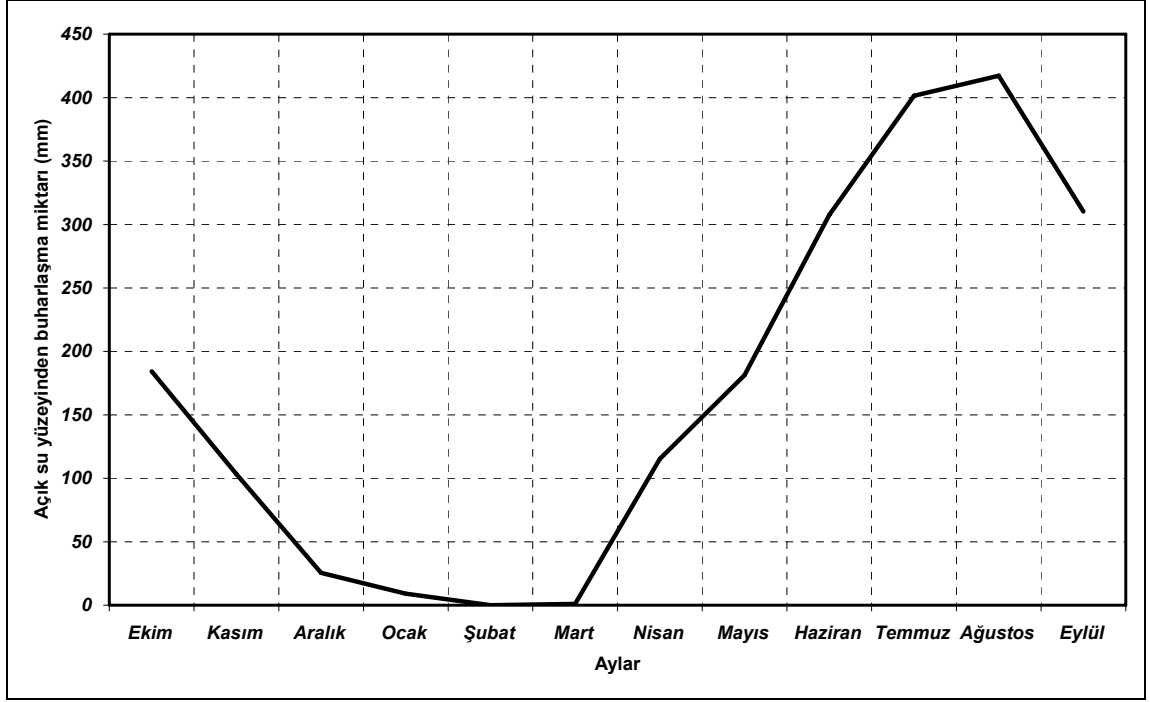
4.1 Eleviyan Rezervuarı Parametrelerindeki Değişim

Eleviyan rezervuarının girdisi ve çıktılarını teşkil eden ve optimizasyon modeli ile karar ağacı modellerinde kullanılan değerlerin gösterdiği değişim değerlendirilmiştir. İçme ve kullanma suyun miktarındaki değişimler şekil 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.1 den görüldüğü gibi yaz aylarında içme ve kullanma suyuna olan ihtiyaç diğer aylara nazaran daha fazladır. Rezervuar işletmesi çalışmalarında her zaman içme ve kullanma suyunun tamamen karşılanması ve ihtiyacın eksik olmamasına dikkat edilir.



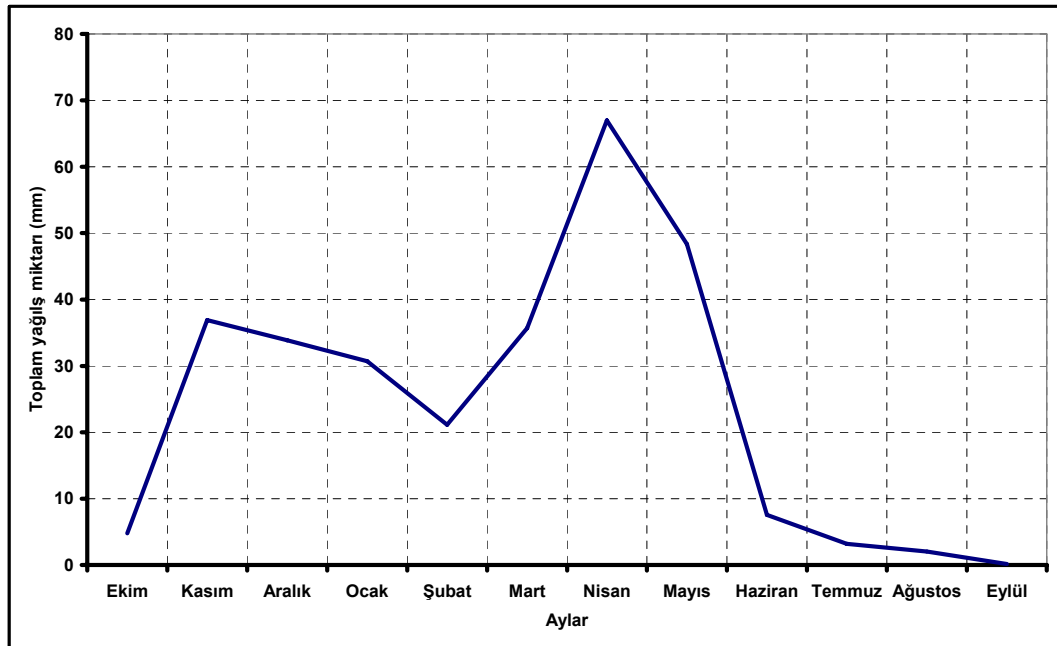
Şekil 4.1 Aylık içme ve kullanma suyu taleplerinin değişimi

Rezervuar çalışmalarında göl yüzeyinden buharlaşan su miktarı önemli kayıplardan birisidir. Açık su yüzeyinden olan aylık ortalama buharlaşma miktarı değişimi şekil 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2’den görüleceği gibi en az buharlaşma kış aylarında ve en çok ise yaz dönemlerinde meydana gelmiştir.



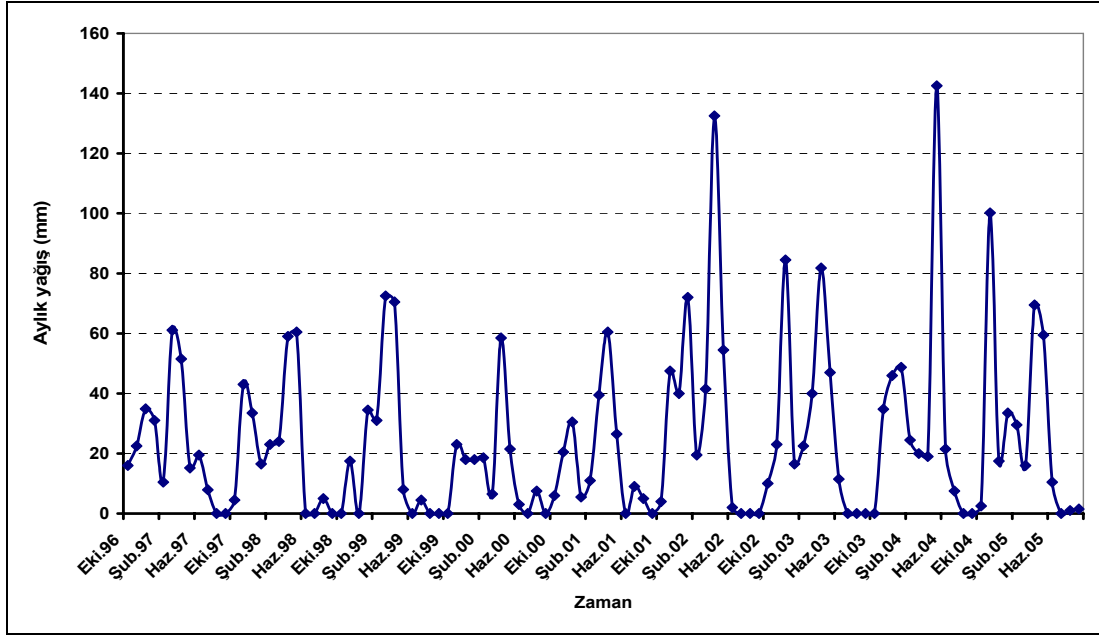
Şekil 4.2 Açık su yüzeyinden aylık ortalama buharlaşan su miktarı

Eleviyan rezervuar göl yüzeyinde gerçekleşen toplam yağmur miktarı 291 mm olup buharlaşmaya nazaran çok az ve rezervuarda depolanan su miktarını fazla etkilemez durumdadır. Şekil 4.3 yağış miktarının yıl içindeki dağılımını göstermektedir.



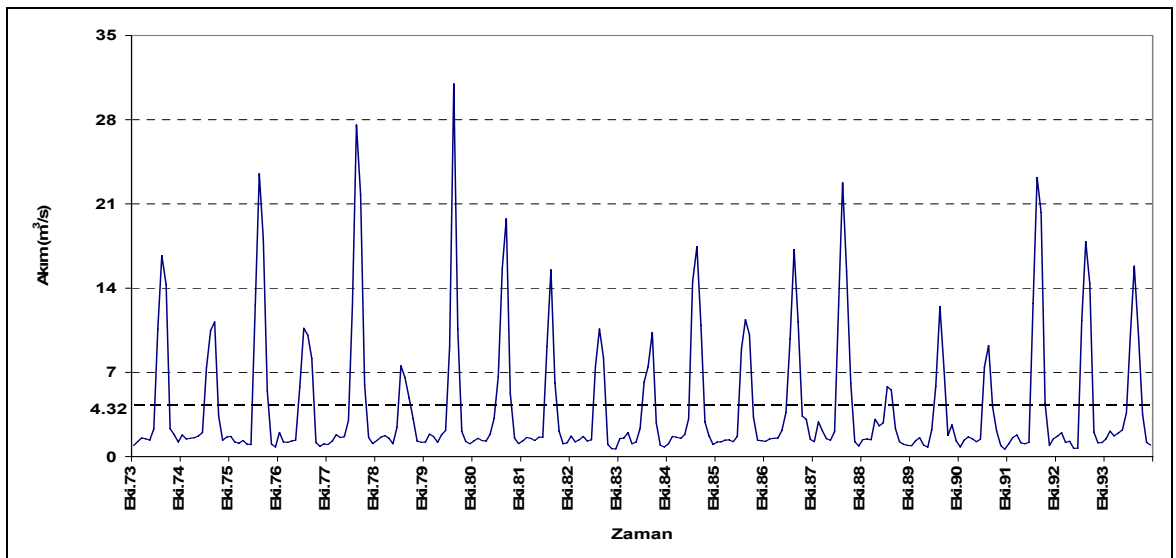
Şekil 4.3 Aylık toplam yağış miktarı

İşletme süresince aylık yağışların gösterdiği değişim şekil 4.4’de verilmiştir. Şekil 4.4’den de görüleceği gibi Temmuz 1998 ile Şubat 2002 arası nispeten kurak döneme denk gelmektedir.



Şekil 4.4 Aylık yağış miktarının değişimi

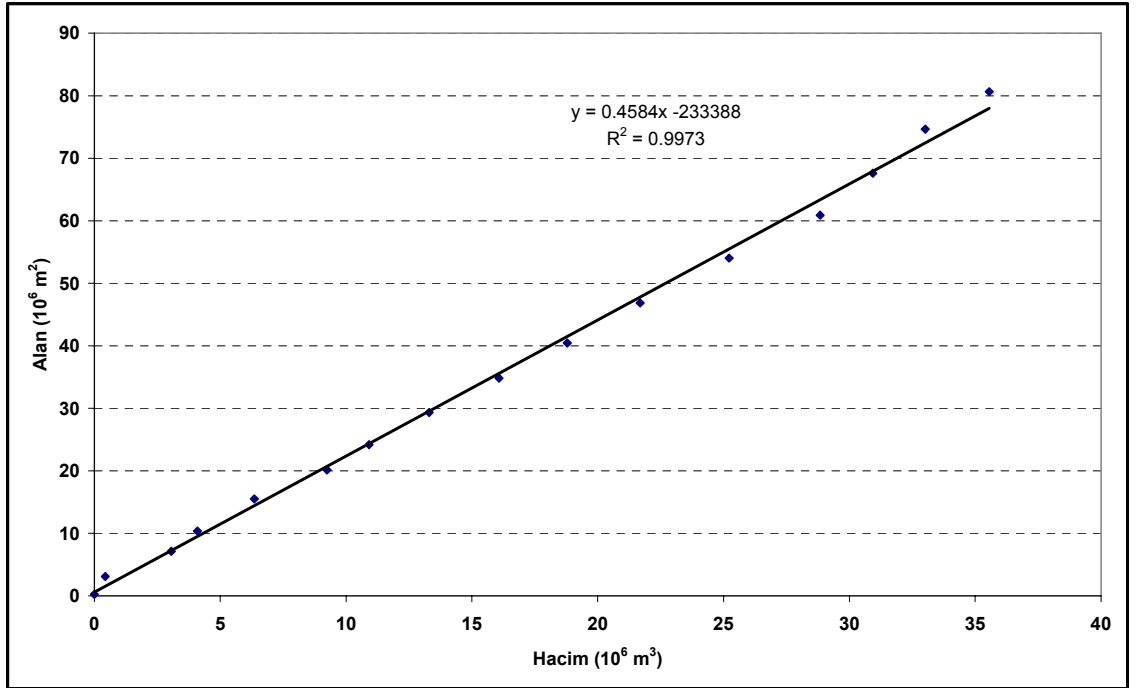
Materyal bölümünde Çizelge 3.15 - 3.16’ da verilen Ekim 1973 ile Eylül 1994 tarihleri arasında ölçülmüş toplam 252 aylık akımın ortalaması $4.32 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Akımların aylık olarak gösterdiği değişim Şekil 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.5 Ekim 1973 ile Eylül 1994 arasında aylık ortalama akımların değişimi

Şekil 4.5'ten görüldüğü gibi ortalama debi ($4.32 \text{ m}^3/\text{s}$) altında olan ve kurak dönemleri ifade eden çizgiler ortalamanın üzerinde olan yağışlı dönemlerden daha düzgün dağılmaktadır.

Eleviyan rezervuarında Hacim-Alan diyagramı Excel programı ortamında doğrusal bir denklem haline çevrilmiştir (Şekil 4.6). Şekil 4.6'dan da görüleceği gibi Eleviyan rezervuarında hacim ile alan arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Bölüm 3.2.1 de verilen optimizasyon modelinde PP ve EV hacimleri alana bağlı olarak değişmekte ve doğrusal olmayan bir ilişki gösterebilmektedir. Ancak bu çalışmada alanla hacim arasındaki ilişki doğrusal olarak ifade edildiğinden PP ve EV hacimleri de doğrusal ilişki ile ifade edilmiştir. Dolayısı ile bu çalışmada geliştirilmiş optimizasyon modelinde doğrusal programlama kullanılmıştır.

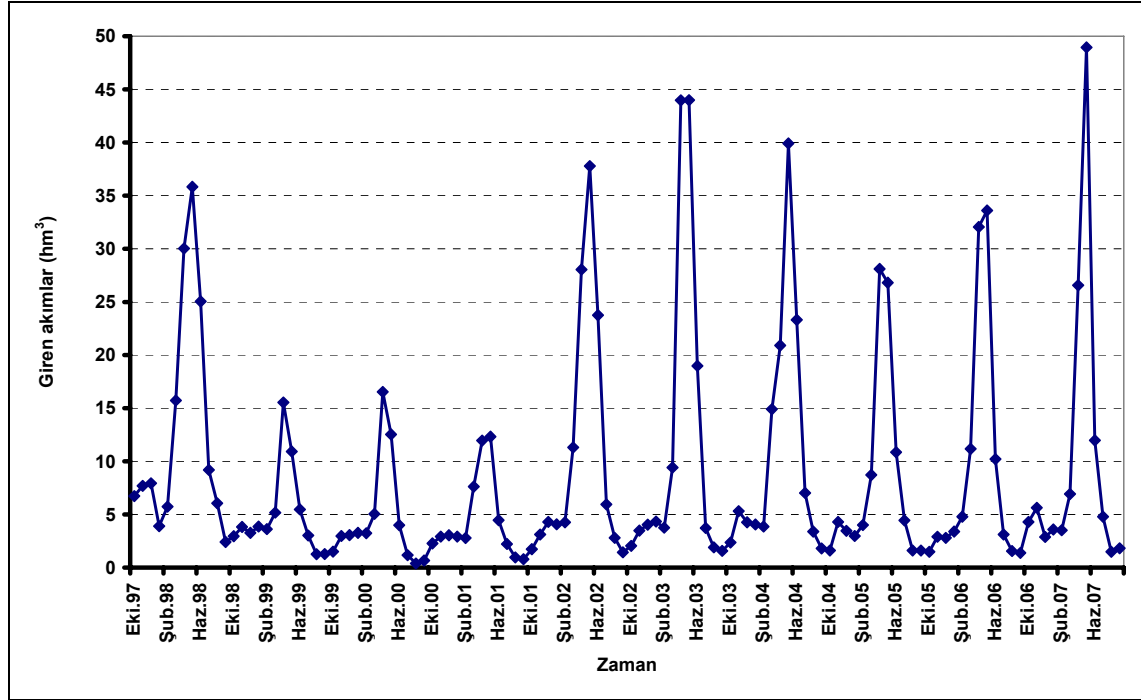


Şekil 4.6 Eleviyan rezervuarında hacim-alan ilişkisi

4.2 Eleviyan Rezervuarının İşletme Sürecindeki Durumu

Rezervuara ait işletme verileri Ekim 1997 tarihinden Eylül 2007 tarihine kadar Eleviyan barajı yönetimine ait veri tabanında bulunmaktadır. Rezervuarın günlük akımları,

depolanan su miktarları ve bırakılan su miktarları aylık veriler haline dönüştürülerek bazı ön yorumlar yapılmaya çalışılmıştır. Toplam 10 yıllık işletme süresi boyunca ölçülen veriler çizelge 4.1-4.4 ve aynı döneme ait verilerin gösterdiği değişimler şekil 4.7- 4.11’de özetlenmiştir.



Şekil 4.7 Rezervuara giren aylık akımlar

Çizelge 4.1 Ekim 1973-Eylül 2007 tarihleri arasında rezervuara giren aylık akımlar

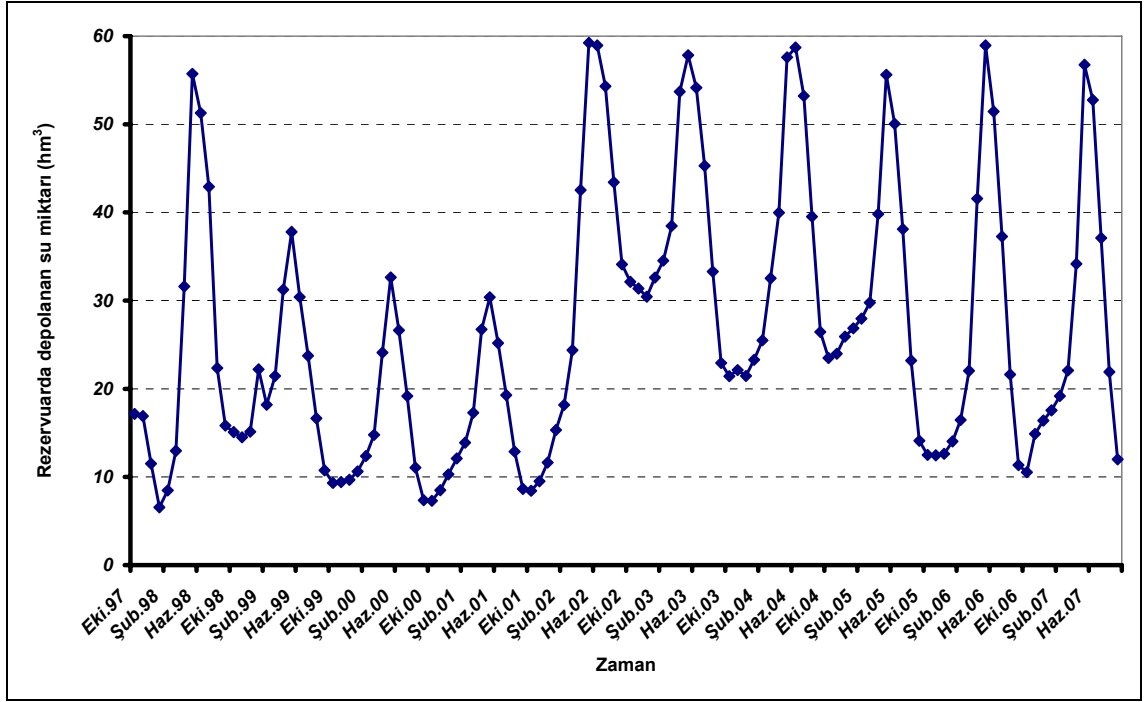
Su yılı	Aylar (hm ³)												Ortalama (hm ³)	Toplam (hm ³)
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül		
1997-1998	6.72	7.698	7.938	3.893	5.725	15.729	30.02	35.834	25.035	9.2	6.049	2.408	13.02	156.25
1998-1999	2.95	3.83	3.27	3.86	3.62	5.18	15.54	10.93	5.47	3.02	1.25	1.28	5.02	60.19
1999-2000	1.50	2.97	3.06	3.26	3.24	5.04	16.54	12.52	3.99	1.18	0.38	0.67	4.53	54.36
2000-2001	2.27	2.92	3.04	2.92	2.79	7.63	11.96	12.32	4.46	2.22	0.95	0.79	4.52	54.25
2001-2002	1.72	3.11	4.31	4.06	4.27	11.30	28.04	37.78	23.74	5.94	2.79	1.44	10.71	128.50
2002-2003	2.05	3.48	4.03	4.33	3.76	9.42	43.96	43.99	18.99	3.72	1.90	1.57	11.77	141.20
2003-2004	2.37	5.32	4.27	4.05	3.86	14.92	20.89	39.92	23.32	7.03	3.40	1.81	10.93	131.14
2004-2005	1.61	4.30	3.46	2.97	4.01	8.71	28.10	26.81	10.85	4.44	1.61	1.62	8.21	98.49
2005-2006	1.49	2.91	2.80	3.40	4.80	11.17	32.06	33.61	10.21	3.11	1.56	1.38	9.04	108.48
2006-2007	4.29	5.62	2.89	3.58	3.52	6.91	26.56	48.95	11.98	4.78	1.48	1.81	10.20	122.37
Ortalama	2.70	4.21	3.91	3.63	3.96	9.60	25.37	30.26	13.80	4.46	2.14	1.48	8.79	105.52

Şekil 4.7’den görüldüğü gibi Temmuz 1998 ile Mart 2002 yılları arası kurak döneme denk gelmiştir, ancak Nisan 2002’den 2007 Eylül’e kadar nispeten yağışlı dönem söz konusudur.

Çizelge 4.2 Ekim 1973-Eylül 2007 tarihleri arasında rezervuarda aylık depolanan su miktarı

Su yılı	Aylar (hm ³)												Ortalama (hm ³)	Maksimum
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül		
1997-1998	17.16	16.90	11.51	6.55	8.47	12.95	31.61	55.72	51.29	42.92	22.35	15.83	24.44	55.72
1998-1999	15.07	14.50	15.13	22.21	18.19	21.45	31.24	37.79	30.40	23.74	16.65	10.75	21.43	37.79
1999-2000	9.30	9.42	9.67	10.63	12.36	14.78	24.11	32.63	26.63	19.18	11.07	7.36	15.59	32.63
2000-2001	7.30	8.48	10.29	12.09	13.88	17.29	26.74	30.38	25.18	19.27	12.87	8.64	16.03	30.38
2001-2002	8.44	9.50	11.63	15.31	18.16	24.38	42.53	59.24	58.94	54.30	43.41	34.11	31.66	59.24
2002-2003	32.13	31.37	30.43	32.61	34.53	38.47	53.69	57.83	54.15	45.29	33.28	22.91	38.89	57.83
2003-2004	21.43	22.13	21.44	23.28	25.49	32.54	39.97	57.60	58.72	53.21	39.53	26.43	35.15	57.60
2004-2005	23.50	23.98	25.91	26.86	27.95	29.78	39.82	55.62	50.06	38.10	23.20	14.09	31.57	55.62
2005-2006	12.50	12.45	12.62	14.03	16.45	22.04	41.57	58.95	51.45	37.26	21.62	11.34	26.02	58.95
2006-2007	10.54	14.87	16.39	17.54	19.17	22.07	34.18	56.77	52.76	37.11	21.90	11.98	26.27	56.77
Ortalama	15.74	16.36	16.50	18.11	19.46	23.57	36.55	50.25	45.96	37.04	24.59	16.34	26.71	50.25

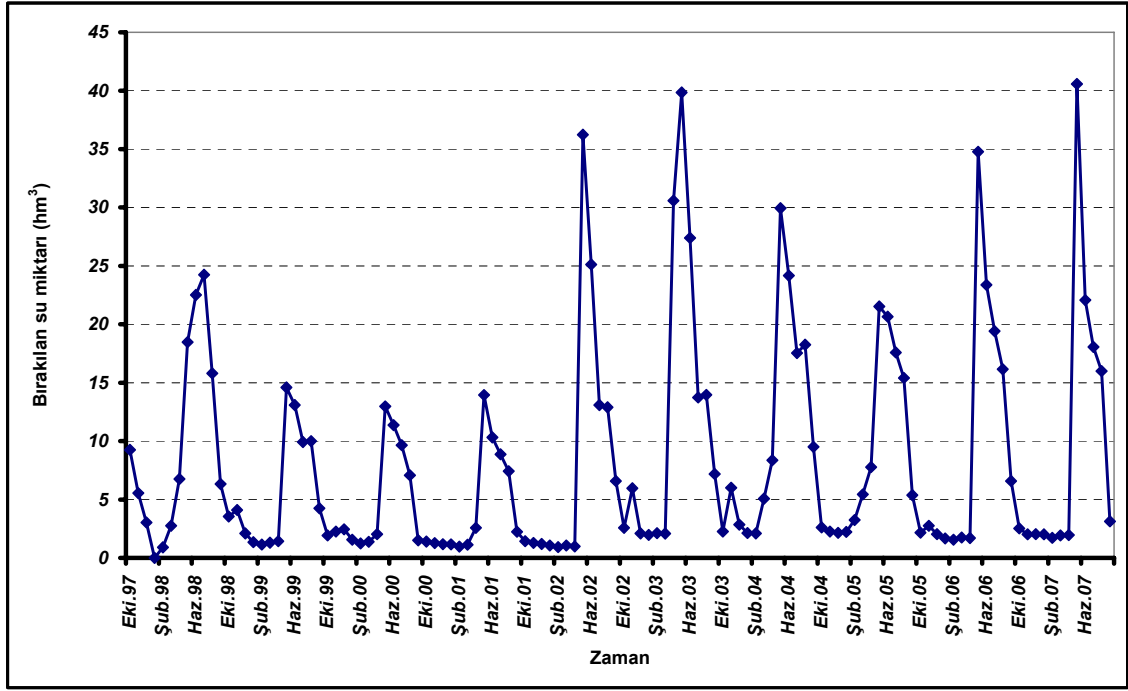
Bu akımların gösterdiği değişim rezervuarda depolanan su miktarına yansımaktadır. Şekil 4.8’den görüleceği gibi Nisan 2002’ten 2007 Eylül’e kadar depolanan su miktarında artış görülmektedir. Bazı aylarda talepler tamamen karşılanmasa bile işletme politikasına göre hiçbir zaman rezervuar boşatılmamıştır. Tarım arazilerinin doğru tespit edilmemesi ve çiftçiler tarafından aşırı su kullanımı sonucunda su eksikliği meydana gelebilir. Ancak rezervuarın hiçbir zaman boş bırakılmaması bir anlamda taleplerin karşılanması demektir. Tarım yapılan alanların net tespiti kadastro haritalarından veya planlama raporuna göre ekilmemiş arazilerin belirlenmesi durumunda söylemek mümkün olabilir. Ancak ne yazık ki bu haritaların oluşturulmasına şu ana dek özen gösterilmemiştir.



Şekil 4.8 Eleviyan rezervuarında depolanan su miktarı

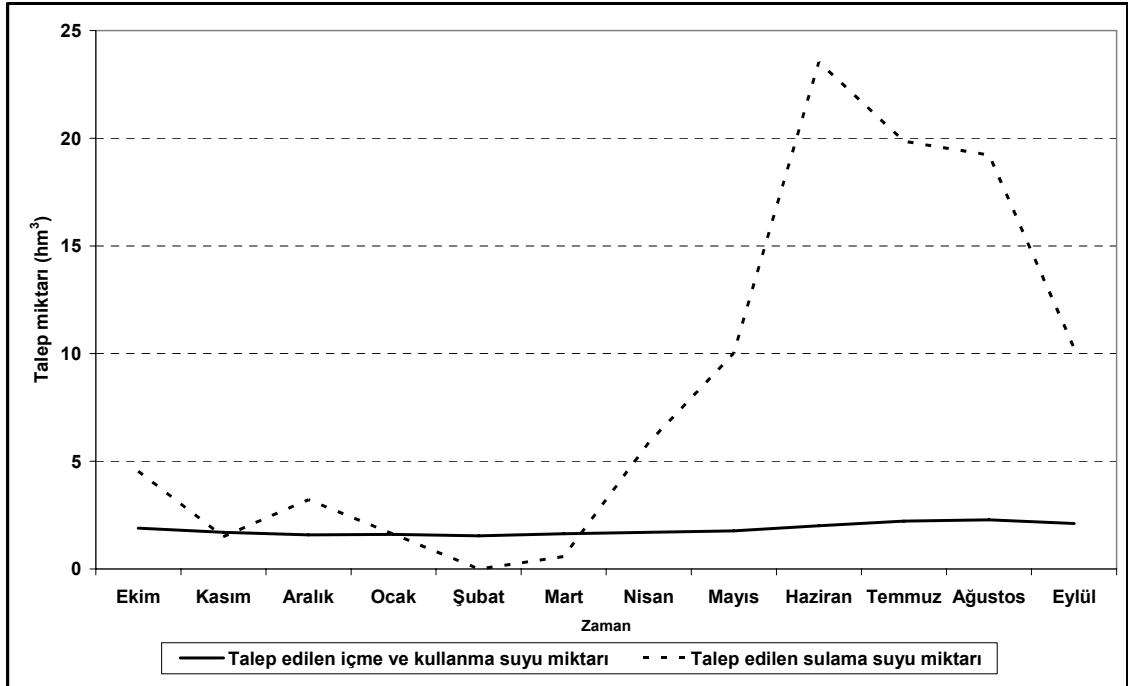
Çizelge 4.3 Ekim 1973-Eylül 2007 tarihleri arasında rezervuardan bırakılan aylık su miktarları

Su yılı	Aylar (hm ³)												Ortalama (hm ³)	Toplam (hm ³)
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül		
1997-1998	9.25	5.55	3.03	0.00	0.91	2.76	6.76	18.47	22.52	24.25	15.81	6.33	9.64	115.64
1998-1999	3.55	4.11	2.10	1.35	1.14	1.31	1.43	14.60	13.09	9.92	10.00	4.25	5.57	66.85
1999-2000	1.93	2.26	2.44	1.56	1.24	1.38	2.03	12.98	11.38	9.66	7.08	1.51	4.62	55.43
2000-2001	1.41	1.27	1.17	1.16	0.98	1.13	2.58	13.95	10.32	8.87	7.43	2.24	4.37	52.50
2001-2002	1.43	1.30	1.19	1.06	0.92	1.07	0.99	36.24	25.13	13.09	12.90	6.59	8.49	101.90
2002-2003	2.58	5.97	2.10	1.97	2.12	2.09	30.59	39.84	27.40	13.73	13.96	7.19	12.46	149.54
2003-2004	2.26	6.00	2.85	2.12	2.10	5.08	8.36	29.94	24.17	17.53	18.26	9.51	10.68	128.19
2004-2005	2.60	2.26	2.15	2.23	3.24	5.43	7.77	21.53	20.66	17.58	15.41	5.37	8.85	106.25
2005-2006	2.16	2.76	2.04	1.67	1.56	1.76	1.70	34.78	23.37	19.42	16.16	6.58	9.50	113.94
2006-2007	2.53	2.02	2.03	2.02	1.72	1.93	1.96	40.58	22.07	18.06	16.00	3.13	9.50	114.05
Ortalama	2.97	3.35	2.11	1.51	1.59	2.39	6.42	26.29	20.01	15.21	13.30	5.27	8.37	100.43



Şekil 4.9 Rezervuardan bırakılan su miktarı

Eleviyan rezervuarında depolanan ve bırakılan su miktarları arasındaki değişimin Şekil 4.7’de verilen akımlardaki değişime uyduğu görülmektedir (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9).



Şekil 4.10 Aylık talep edilen sulama ve içme-kullanma suyu miktarları

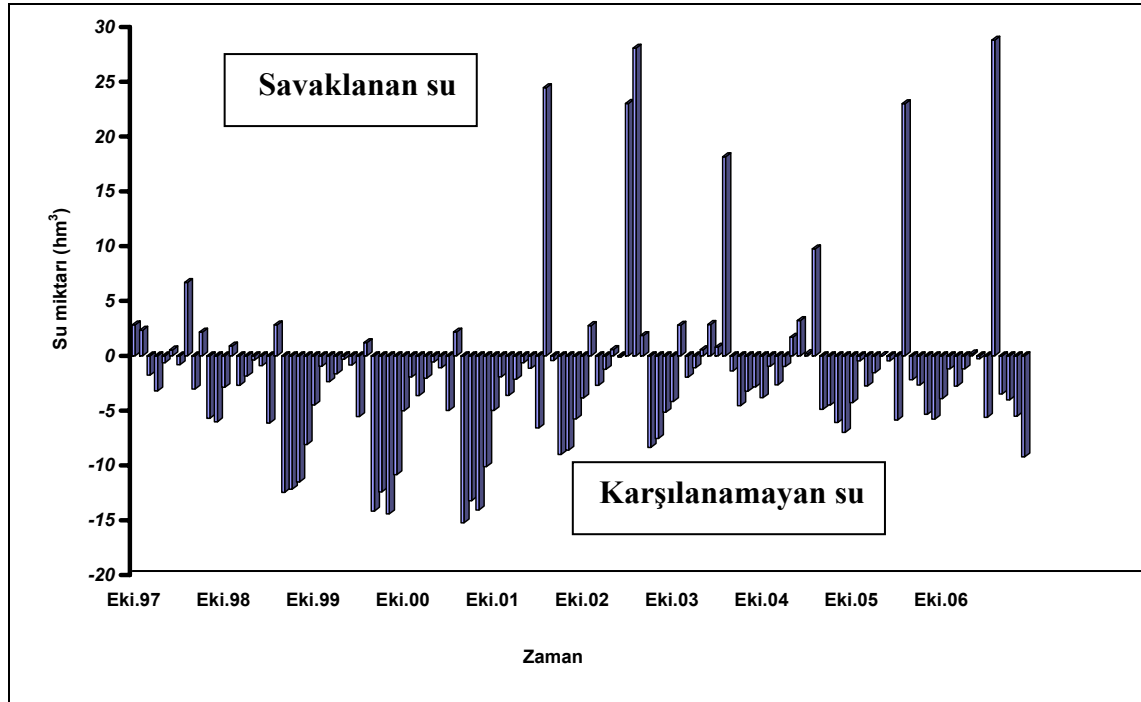
Şekil 4.10'dan görüldüğü gibi barajın planlama aşamasında ileriye yönelik bir anlayışla talepler hesaplanmıştır. Eleviyan barajının planlama aşamasında 101 hm³ sulama suyu talebi ve 22 hm³ içme ve kullanma suyu talebi esas alınmıştır. Yıllar bazında taleplerin aynı olacağı varsayılmıştır. Ancak daha etkin, daha doğru bir planlama ve işletme için taleplerin aylık ve yıllık farklılıklar belirlenmelidir.

Yağışlı dönemlerde rezervuara giren akımların barajın toplam kapasitesinden fazla olduğu dönemlerde savaklanma olayı meydana gelebilir. Eleviyan rezervuarının toplam 10 yıllık işletme süresinin yaklaşık olarak % 23'ünde toplam olarak 215 hm³ su rezervuardan boş yere bırakılmıştır. Diğer taraftan toplam işletme süresinin % 77'sinde ise depolanan su miktarındaki eksiklikler ve dolayısıyla talep edilen su miktarlarının karşılanamadığı da görülmektedir. Bu eksiklik toplam 433 hm³ suya karşılık gelmektedir. Dolayısı ile 10 yıllık işletme süresince toplam talebin % 35.4'ünün karşılanamadığı görülmektedir. Burada yapılan hesaplamalar planlama aşamasındaki verilere göre yapılmıştır. Gelecekle ilgili yapılan tahminlerde akımların rastgele yapısından dolayı net olarak meydana gelebilecek su eksikliğini belirlemek kolay olmayacaktır. Böyle bir durumda gerçek akımların özelliğinden yola çıkılarak yapay akımlar türetip simülasyon yaparak su eksikliği konusunda daha detaylı yorumlar yapılabilir.

Çizelge 4.4 Ekim 1973-Eylül 2007 tarihleri arasında rezervuardan bırakılan ve talep edilen toplam su miktarları arasındaki fark

Su yılı	Aylar (hm ³)											
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1997-1998	2.82	2.33	-1.77	-3.21	-0.64	0.54	-0.81	6.69	-3.03	2.16	-5.70	-6.02
1998-1999	-2.88	0.89	-2.70	-1.86	-0.40	-0.90	-6.14	2.82	-12.46	-12.17	-11.51	-8.10
1999-2000	-4.50	-0.96	-2.36	-1.65	-0.31	-0.84	-5.55	1.20	-14.17	-12.43	-14.43	-10.85
2000-2001	-5.02	-1.95	-3.63	-2.06	-0.57	-1.09	-4.99	2.17	-15.24	-13.21	-14.08	-10.12
2001-2002	-5.00	-1.92	-3.61	-2.15	-0.63	-1.15	-6.59	24.46	-0.43	-9.00	-8.61	-5.77
2002-2003	-3.85	2.75	-2.70	-1.24	0.57	-0.13	23.02	28.06	1.85	-8.36	-7.55	-5.16
2003-2004	-4.17	2.79	-1.96	-1.09	0.55	2.86	0.79	18.16	-1.38	-4.56	-3.25	-2.84
2004-2005	-3.83	-0.95	-2.65	-0.98	1.70	3.22	0.20	9.75	-4.89	-4.51	-6.10	-6.98
2005-2006	-4.27	-0.46	-2.76	-1.54	0.01	-0.46	-5.87	23.00	-2.18	-2.67	-5.35	-5.78
2006-2007	-3.90	-1.20	-2.77	-1.19	0.18	-0.28	-5.61	28.80	-3.48	-4.03	-5.51	-9.23

Çizelge 4.4’ de negatif değerler karşılanamayan su talebi toplamını, pozitif değerler ise savaklanan veya işletme hatası nedeni ile gereksiz yere bırakılan su miktarlarını göstermektedir.



Şekil 4.11 Rezervuardan bırakılan ve talep edilen toplam su miktarları arasındaki fark

Şekil 4.11’ de sıfırın üzerinde olan değerler ihtiyaçtan fazla bırakılmış su miktarlarını ve sıfırın altında olan değerler ise karşılanamayan, eksik su miktarlarını göstermektedir.

Şekil 4.11’de bir çok ayda baraj dolu veya doluya yakın olsa bile bazı aylarda karşılanamayan su miktarları görülmektedir. Bunun işletme hatası veya ay içerisinde günlük olarak rezervuara giren akımların, depolanan ve bırakılan su miktarlarının aylık ortalamasının alınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.3 Sofi Çayı Akımlarının Monte Carlo Yöntemine Göre Simülasyonu

Eleviyan rezervuarı inşası öncesi, Sofi çayı üzerinde Tazekent akım gözlem istasyonunda Ekim 1973-Eylül 1994 yılları arasında kaydedilen 21 yıllık akım verileri ele alınmış ve Monte Carlo simülasyonu yöntemi ile 21 yıllık yapay akımlar

türetilmiştir. İlk olarak 21 yıllık ölçülen akımlar SYSTAT 11 yazılımı yardımı ile incelenmiş ve en uygun dağılımlar seçilmiştir. Dağılımların seçiminde hidrolojide en çok kullanılan; Normal, Lognormal, Weibull, Gamma, Pareto ve Gumbel dağılımları test edilmiştir. Her dağılım için Kolmogrov-Smirnov testi istatistik değerleri (K.S) hesaplanmıştır. En küçük K.S değeri olan dağılım en uygun dağılım olarak seçilmiştir.

Sofi Çayı akımlarına en çok uyan dağılımlar ve bunlara ait parametrelerin değerleri çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Sofi Çayı akımlarına en çok uyan dağılımlar ve bunlara ait parametrelerin değerleri

Ay	K.S*	En uygun dağılım	Dağılım parametreleri	
			Şekil parametresi	Ölçek parametresi
Ekim	0.104144	Gamma	$\alpha = 17.553882$	$\beta = 0.197487$
Kasım	0.160549	Gumbel	$\alpha = 3.607986$	$\theta = 0.831761$
Aralık	0.08141	Weibull	$\alpha = 6.473065$	$\beta = 4.362942$
Ocak	0.194178	Gumbel	$\alpha = 3.358074$	$\theta = 0.905032$
Şubat	0.110672	Lognormal	$\mu = 1.304713$	$\delta = 0.326283$
Mart	0.089456	Gumbel	$\alpha = 4.825654$	$\theta = 2.391699$
Nisan	0.142116	Lognormal	$\mu = 3.178847$	$\delta = 0.273467$
Mayıs	0.119693	Weibull	$\alpha = 2.488315$	$\beta = 46.395644$
Haziran	0.116427	Gumbel	$\alpha = 23.418371$	$\theta = 11.286792$
Temmuz	0.086496	Lognormal	$\mu = 1.974890$	$\delta = 0.510832$
Ağustos	0.142494	Lognormal	$\mu = 1.202470$	$\delta = 0.356353$
Eylül	0.07606	Normal	$\mu = 2.825714$	$\delta = 0.669865$

Not: Kolmogrov-Smirnov testi istatistik değerleri (K.S)

Akımların türetilmesi için uygun olarak seçilen dağılımların parametrelerine dayalı olarak Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılmıştır. SYSTAT 11 yazılımı kullanılarak her bir ay için akım verileri türetilmiştir. Türetilen akımlar çizelge 4.2 de verilmiştir.

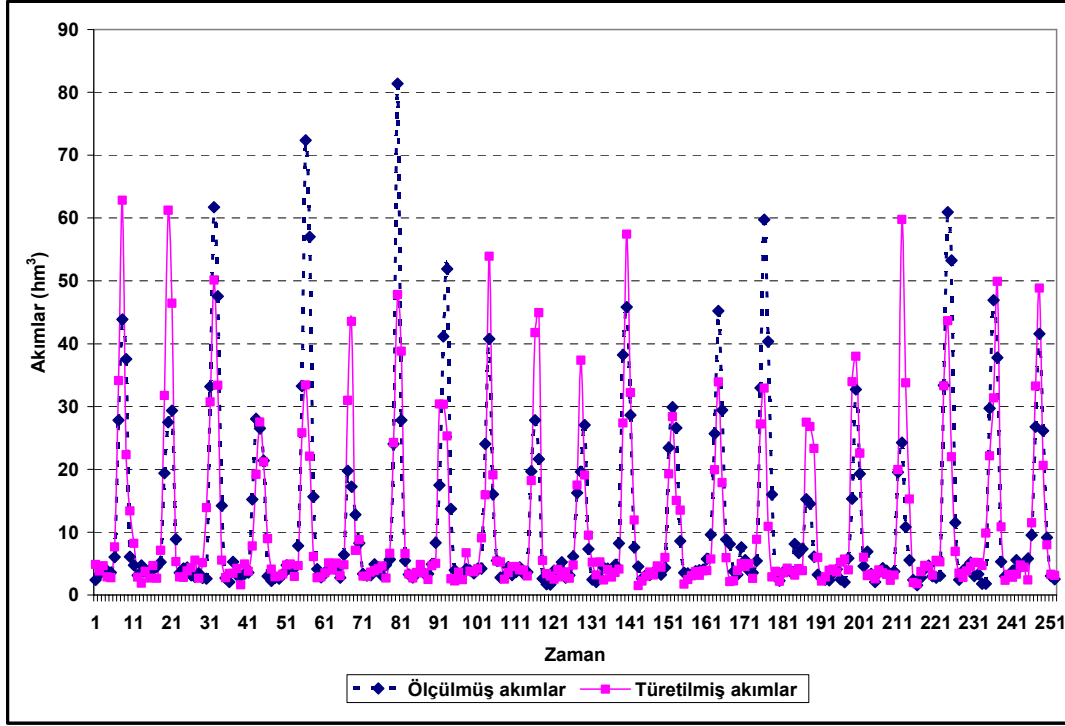
Çizelge 4.6'dan da görüleceği gibi Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında akım miktarı diğer aylara göre daha fazladır. Aylık akımların en büyük değeri 62.83 hm³ Mayıs ayında gerçekleşmiştir. Türetilen akım verilerinin yıllık toplamının ortalaması 134.16 hm³ ve ölçülmüş akım verilerinin yıllık toplamının ortalaması ise (çizelge 3.15 - 3.16) 136.10 hm³ olarak hesaplanmıştır. Buradan türetilmiş akım verileri ile ölçülmüş akım verilerinin benzeşim gösterdiği sonucuna varılabilir.

Çizelge 4.6 Monte Carlo simülasyon yöntemi ile türetilmiş akım verileri (hm³)

Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1	4.86	3.80	4.64	2.88	2.76	7.65	34.12	62.83	22.33	13.39	8.23	2.84	170.34
2	1.88	3.75	2.71	4.69	2.68	7.11	31.76	61.25	46.45	5.31	2.88	2.79	173.27
3	3.85	4.36	5.55	2.67	5.13	13.89	30.75	50.13	33.38	5.55	2.75	3.44	161.44
4	3.45	4.24	1.63	4.92	3.78	7.81	19.22	27.51	21.20	8.99	4.11	2.92	109.77
5	3.03	3.33	4.78	4.92	2.95	4.67	25.81	33.45	22.10	6.12	2.77	2.89	116.82
6	3.55	5.11	3.97	5.06	3.10	4.82	30.99	43.54	7.13	8.81	3.00	2.97	122.04
7	3.65	3.90	4.18	4.61	2.70	6.64	24.24	47.83	38.80	6.62	3.34	2.70	149.20
8	3.57	4.86	3.51	2.46	4.65	5.05	30.41	30.37	25.31	2.58	2.26	3.63	118.65
9	2.44	6.72	3.79	3.70	4.16	9.11	15.93	53.92	19.12	5.41	5.27	2.53	132.10
10	3.56	4.53	4.53	3.99	3.96	3.02	18.23	41.77	44.93	5.48	3.40	2.99	140.40
11	2.52	4.05	2.90	3.70	2.68	4.78	17.50	37.38	19.11	9.53	5.23	3.20	112.55
12	5.24	2.42	4.06	2.86	3.59	4.10	27.39	57.43	32.20	11.96	1.49	2.22	154.94
13	3.00	3.65	3.18	4.61	4.43	5.96	19.27	28.39	15.04	13.51	1.74	2.46	105.24
14	3.07	3.72	3.11	3.84	3.91	5.73	19.95	33.93	17.89	5.96	2.12	2.24	105.46
15	3.89	5.02	4.52	4.98	2.63	8.85	27.23	32.93	10.92	2.87	3.76	2.19	109.80
16	3.56	4.26	3.81	3.15	4.20	3.87	27.51	26.82	23.33	5.97	2.23	2.88	111.59
17	3.92	4.10	3.67	5.23	5.75	3.99	33.95	38.02	22.59	6.00	3.09	3.37	133.67
18	2.58	4.00	3.55	3.26	2.35	3.19	19.96	59.78	33.77	15.29	1.97	1.78	151.47
19	3.72	4.72	4.50	3.15	5.53	5.28	33.29	43.65	22.00	6.94	3.48	2.78	139.04
20	3.83	4.52	5.19	5.17	4.67	9.86	22.16	31.38	49.92	10.83	2.34	3.26	153.12
21	2.83	3.29	4.78	4.41	2.40	11.48	33.26	48.86	20.63	7.98	3.31	3.13	146.36
Ortalama	3.43	4.21	3.93	4.01	3.72	6.52	25.85	42.44	26.10	7.86	3.27	2.82	134.16

Monte Carlo yöntemi rasgele sayılar yaklaşımına bağlı olduğundan dolayı her simülasyon sonucunun doğal olarak birbirinden farklı olması beklenmektedir. Farklı akım verilerinin türetilmesi çeşitli senaryolara göre rezervuar sisteminin değerlendirilmesine olanak sağlar. Burada ölçülmüş akımlar ile 21 yıllık süre için Monte Carlo simülasyonu yönteminde türetilen akımlar karşılaştırılmıştır (şekil 4.12). Şekil 4.12'den görüleceği gibi değişimler pek fazla değildir. Görülen değişimler yöntemin rasgele sayılar yaklaşımına bağlı olmasından kaynaklanmakta olup, hidrolojide doğal bir süreç olarak kabul edilmektedir. Eğer simülasyon süresi daha uzun olsaydı, türetilen verilerin ölçülmüş verilere benzerliği daha çok olup, daha fazla

gerçeği yansıtabilirdi. Bazı aylarda görülen sıçramalar hidrolojik verilerin yapısında olan rasgelelikten kaynaklanmaktadır. Bu tür ekstrem değerler zaman-zaman meydana gelen taşkınların göstergesidir. Böyle az görünen değerler dışında diğer aylarda oransal benzerlik görünmektedir.



Şekil 4.12 Ölçülmüş akımlar ile türetilmiş akımların karşılaştırılması

Karşılaştırma amacı ile gözlenmiş ve türetilmiş akımlara göre hesaplanan bazı istatistik değerler çizelge 4.7’ de verilmiştir. Çizelge 4.7’ den de görüleceği gibi ortalama ve standart sapma gibi temel istatistik değerler açısından gözlenmiş ve türetilmiş akımlar arasında benzerlik vardır.

Çizelge 4.7 Gözlenmiş ve türetilmiş akım verilerine ait istatistik değerler

İstatistikler	Gözlenmiş akımlar	Türetilmiş akımlar
Ortalama (hm^3)	11.34	11.18
Standart Sapma (hm^3)	14.30	13.47
Basıklık	4.87	2.84
Çarpıklık	2.20	1.88
Toplam (hm^3)	2856.56	2817.26
En Büyük (hm^3)	81.37	62.83
En Küçük (hm^3)	1.58	1.49
Veri sayısı	252	252

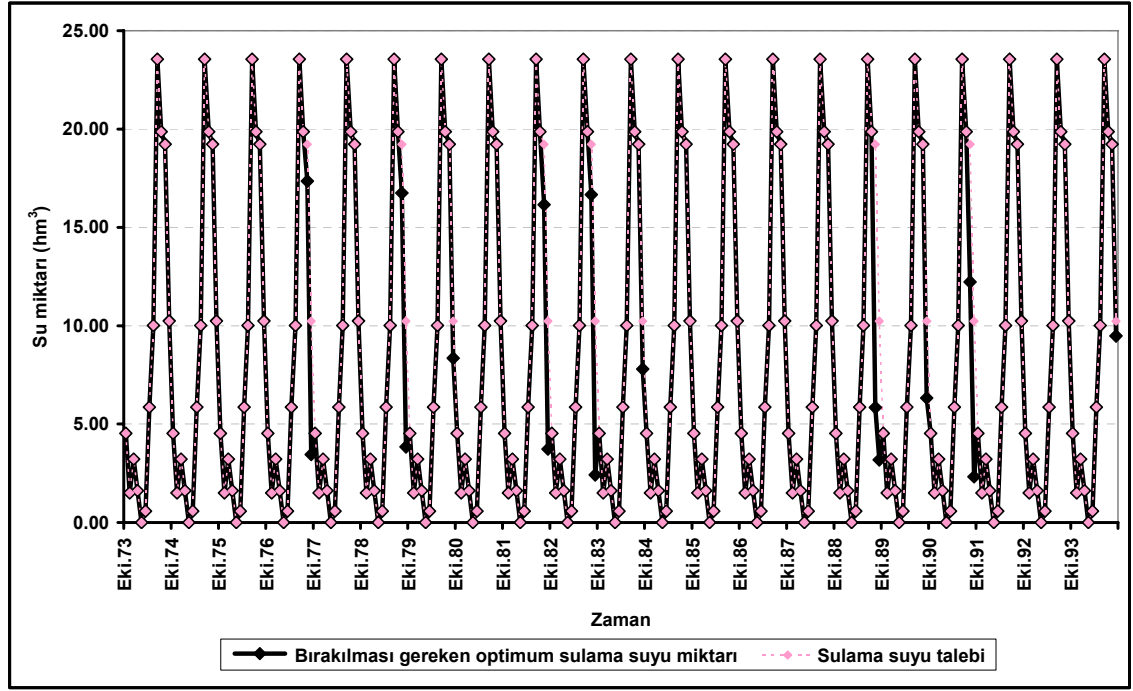
4.4 Doğrusal Programlama Modeline İlişkin Sonuçlar

4.4.1 Rezervuar inşası öncesi 21 yıllık gözlenmiş akımlara uygulanan doğrusal programlama modeline ilişkin sonuçlar

Sofî çayı üzerindeki Tazekent akım gözlem istasyonunda Ekim 1973-Eylül 1994 yılları arasında kaydedilen 21 yıllık akım verileri ele alınarak doğrusal programlama modeli GAMS yazılım ortamında çalıştırılmış ve rezervuar optimum işletme parametreleri hesaplanmıştır. Model çalıştırıldıktan sonra kapsamlı çıktılar seti üretmiştir. Bırakılması gereken optimum sulama suyu miktarları (IR) hm^3 olarak 21 yıllık süre için hesaplanmış ve Çizelge 4.8 verilmiştir. Çizelge 4.8’ de verilen bırakılması gereken optimum sulama suyu miktarları ile talep miktarları arasındaki değişim şekil 4.13’te verilmiştir. Çizelge 4.8’ den görüleceği gibi bazı yıllarda sadece Ağustos ve Eylül aylarında talebin bir kısmı karşılanamamıştır. Diğer aylarda talep edilen sulama suyu miktarlarının tamamı rezervuardan karşılanmıştır.

Çizelge 4.8 Ekim 1973-Eylül 1994 yılları arasında bırakılması gereken optimum sulama suyu miktarları (hm^3)

Su yılı	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1973-1974	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
1974-1975	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
1975-1976	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
1976-1977	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	17.36	3.46	91.54
1977-1978	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
1978-1979	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	16.75	3.84	91.31
1979-1980	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	8.35	98.30
1980-1981	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
1981-1982	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	16.15	3.73	90.60
1982-1983	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	16.66	2.42	89.80
1983-1984	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	7.80	97.75
1984-1985	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
1985-1986	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
1986-1987	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
1987-1988	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
1988-1989	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	5.85	3.18	79.75
1989-1990	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	6.33	96.28
1990-1991	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	12.23	2.32	85.27
1991-1992	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
1992-1993	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
1993-1994	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	9.48	99.43
Ortalama	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	17.78	7.79	96.29



Şekil 4.13 Birakılması gereken optimum sulama suyu miktarları ile talep arasındaki değişim

Şekil 4.13'ten de anlaşıldığı gibi bırakılması gereken optimum sulama suyu miktarları, rezervuarın inşasından önceki planlamadaki bitki desenine göre hesaplanmış olan sulama suyu taleplerini karşılamaktadır. Amaç fonksiyonu olarak tanımlanan toplam bırakılması gereken sulama suyu miktarı 21 yıllık süre için 2022.11 hm³ hesaplanmıştır. Bu süre içinde tüm taleplerin %100 karşılanması istenilseydi o zaman bırakılması gereken sulama suyu miktarının toplam 2104 hm³ olması gerekirdi. Rezervuar işletmeye açılmadan önceki dönemi kapsayan optimizasyon sonuçlarına göre talebin % 96 sı karşılanabilmektedir. Diğer bir deyişle eksik su miktarı % 4 civarındadır. Model sonuçlarına göre planlama aşamasında bırakılması düşünülen sulama suyu miktarları uygundur. Ancak rezervuarın inşasından sonra meydana gelebilecek akımlar bilinmediğinden, çiftçiler tarafından yapılacak aşırı su kullanma sonucunda ve bitki deseninde yapılacak her tür değişimler ile operatör hatalarından dolayı planlamada öngörülen sulama suyu talepleri tam olarak karşılanamayabilir.

Rezervuarda depolanması gereken optimum su miktarı yani karar değişkenlerin bir başka ögesi ise optimizasyon modeli çalışmasından sonra hesaplanmıştır. Bu

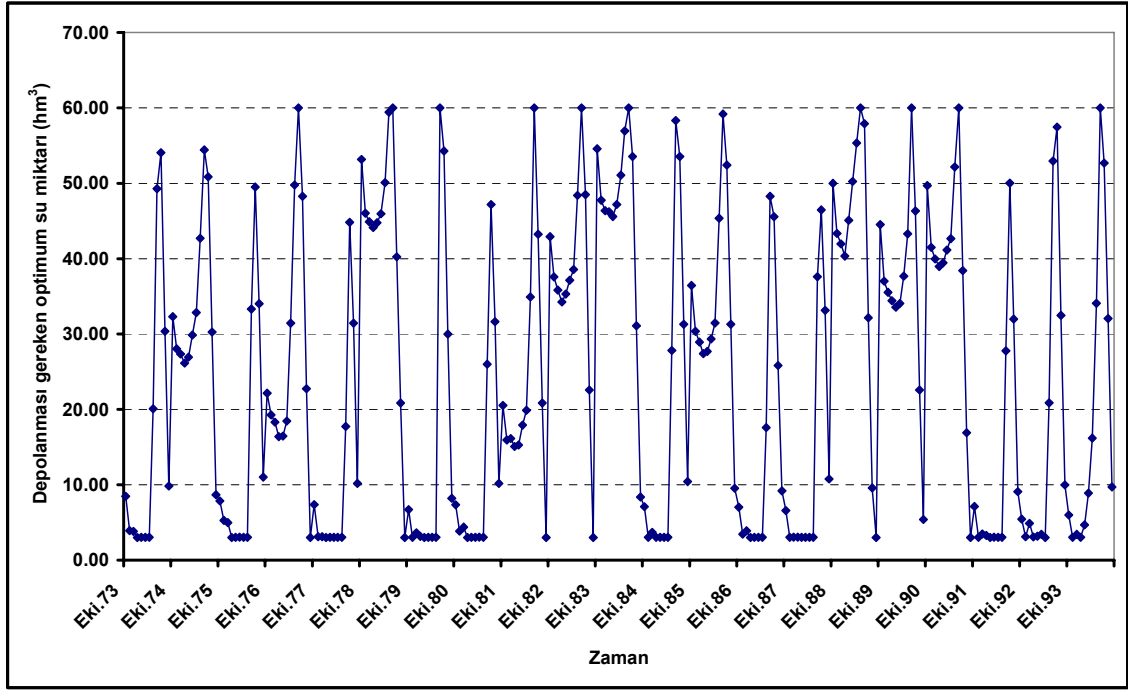
hesaplamalar sadece optimizasyon modelinin dikkate aldığı kısıtlar ve belli miktarda rezervuara giren akımlar serisine göre yapılmıştır.

Ekim 1973-Eylül 1994 yılları arasındaki 21 yıllık süre için depolanması gereken optimum su miktarları çizelge 4.9 ve bu değerlerin değişimi şekil 4.14’de verilmiştir. Şekil 4.14’den görüleceği gibi optimizasyon modelindeki kısıta uygun olarak depolanan su miktarı her zaman toplam kapasitenin (60 hm^3) altında tutulmuş ve toplam kapasiteden fazla olan su miktarlarını model savaklanan su miktarı olarak hesaplamıştır.

Çizelge 4.9 Ekim 1973-Eylül 1994 yılları arasında depolanması gereken optimum su miktarları (hm^3)

Su yılı	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Maksimum
1973-1974	8.48	3.93	3.82	3.01	3.04	3.04	3.04	20.08	49.29	54.05	30.35	9.84	54.05
1974-1975	32.31	28.04	27.34	26.15	26.93	29.86	32.85	42.69	54.42	50.86	30.26	8.68	54.42
1975-1976	7.86	5.27	4.97	3.01	3.04	3.05	3.04	3.04	33.32	49.49	34.02	11.01	49.49
1976-1977	22.15	19.26	18.32	16.38	16.45	18.46	31.44	49.78	60.00	48.27	22.74	3.00	60.00
1977-1978	7.37	3.11	3.11	3.01	3.04	3.04	3.04	3.04	17.74	44.82	31.43	10.18	44.82
1978-1979	53.17	46.04	44.89	44.12	44.76	45.96	50.09	59.44	60.00	40.23	20.85	3.00	60.00
1979-1980	6.70	3.02	3.63	3.16	3.02	3.04	3.04	3.04	60.00	54.28	29.98	8.20	60.00
1980-1981	7.34	3.85	4.39	3.01	3.03	3.04	3.04	3.04	25.98	47.19	31.63	10.18	47.19
1981-1982	20.52	15.95	16.14	15.09	15.28	17.92	19.88	34.92	60.00	43.24	20.83	3.00	60.00
1982-1983	42.93	37.58	35.83	34.25	35.30	37.13	38.57	48.40	60.00	48.49	22.58	3.00	60.00
1983-1984	54.57	47.75	46.36	46.23	45.59	47.18	51.08	56.94	60.00	53.55	31.08	8.37	60.00
1984-1985	7.09	3.02	3.70	3.02	3.04	3.04	3.04	27.83	58.31	53.54	31.30	10.43	58.31
1985-1986	36.45	30.36	28.94	27.39	27.68	29.36	31.48	45.36	59.17	52.41	31.29	9.53	59.17
1986-1987	7.01	3.46	3.89	3.01	3.04	3.04	3.04	17.59	48.28	45.57	25.83	9.19	48.28
1987-1988	6.59	3.02	3.05	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	37.60	46.48	33.13	10.77	46.48
1988-1989	50.00	43.34	41.96	40.34	45.09	50.23	55.33	60.00	57.89	32.17	9.58	3.00	60.00
1989-1990	44.52	37.00	35.52	34.42	33.56	34.05	37.67	43.30	60.00	46.32	22.57	5.40	60.00
1990-1991	49.69	41.49	39.96	38.96	39.45	41.15	42.66	52.15	60.00	38.41	16.89	3.00	60.00
1991-1992	7.11	3.02	3.46	3.27	3.02	3.04	3.04	3.04	27.78	50.03	31.99	9.08	50.03
1992-1993	5.45	3.10	4.88	3.07	3.18	3.43	3.01	20.88	52.95	57.45	32.47	9.98	57.45
1993-1994	5.99	3.02	3.41	3.03	4.69	8.90	16.19	34.07	60.00	52.69	32.05	9.70	60.00
Ortalama	23.01	18.32	17.98	17.00	17.39	18.62	20.84	30.08	50.61	48.07	27.28	7.55	50.61

Çizelge 4.9’den görüldüğü gibi bazı yıllarda Haziran ayında rezervuar tam dolu (60 hm^3) veya doluya yakın olmuştur. Eylül ayında ise sulama sezonun sonu olması ve akımların da azalması nedenleri ile depolanması beklenen su miktarı en aza inmiştir. Aylık ortalama depolanan su miktarları açısından, Haziran ayında 50.61 hm^3 ile en fazla ve Eylül ayında 7.55 hm^3 ile en az su miktarının depolanması beklenmektedir.



Şekil 4.14. Depolanması gereken optimum su miktarları

Modelde depolanan su miktarının optimizasyon modelindeki kısıta uygun olarak hiç bir zaman ölü hacim altına düşmesine izin verilmemiştir ve şekil 4.14 den de görüldüğü gibi en az depolanan su miktarı rezervuarın ölü hacmine (3 hm^3) karşılık gelmektedir.

Rezervuar işletmesinde en önemli kayıplardan biri buharlaşma kayıplarıdır. Buharlaşma kayıpları rezervuar yüzey alanının bir fonksiyonudur. Optimum depolanan su miktarlarından elde edilecek göl yüzeyi alanları ve uzun süreli sıcaklıklardan meydana gelebilecek buharlaşma değerleri dikkate alınarak buharlaşması beklenen su miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yıl içinde aylar bazında ortalama sıcaklığın ve A sınıfı buharlaşma kabında ölçülmüş buharlaşma değerlerinin her yıl için sabit kaldığı varsayımı altında yapılmıştır.

Buharlaşma kayıplarına karşılık göl yüzeyine düşen yağmur miktarları rezervuarda depolanan su miktarını çok fazla etkilemez. Bu nedenle bir çok çalışmada ihmal edildiği gibi bu çalışmada da ihmal edilmiştir.

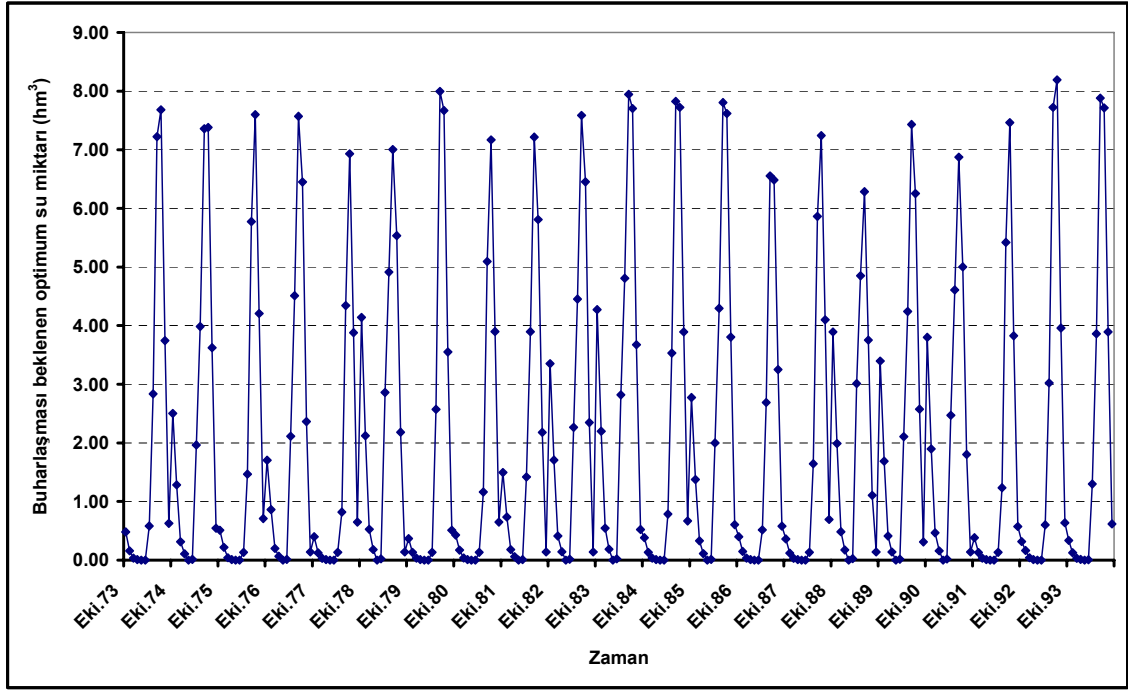
Çalışmada 21 yıllık süre için optimizasyon modelinden hesaplanmış buharlaşma kayıpları çizelge 4.10 ve bunların değişimi şekil 4.15’te verilmiştir.

Çizelge 4.10’ dan görüleceği gibi rezervuar göl yüzeyinden, hava sıcaklığının azalması ile birlikte Ocak, Şubat ve Mart aylarında en az ve sıcaklıkların artması ile birlikte Haziran ile Temmuz aylarında en çok buharlaşmanın meydana gelmesi beklenmektedir. Ekim 1973-Eylül 1994 yılları arasında yıllık ortalama buharlaşması beklenen optimum su miktarları ise 24.87 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.10 Ekim 1973-Eylül 1994 yılları arasında optimum buharlaşması beklenen su miktarları (hm³)

Su yılı	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1973-1974	0.48	0.16	0.03	0.01	0.00	0.00	0.58	2.84	7.22	7.68	3.74	0.63	23.38
1974-1975	2.50	1.28	0.31	0.11	0.00	0.01	1.96	3.99	7.36	7.38	3.62	0.54	29.08
1975-1976	0.51	0.22	0.04	0.01	0.00	0.00	0.13	1.47	5.77	7.60	4.21	0.71	20.67
1976-1977	1.70	0.86	0.20	0.07	0.00	0.01	2.11	4.51	7.57	6.45	2.36	0.14	25.99
1977-1978	0.40	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.13	0.82	4.34	6.93	3.88	0.65	17.32
1978-1979	4.14	2.12	0.52	0.18	0.00	0.02	2.86	4.91	7.00	5.53	2.18	0.14	29.62
1979-1980	0.37	0.13	0.03	0.01	0.00	0.00	0.13	2.57	8.00	7.67	3.55	0.51	22.98
1980-1981	0.43	0.17	0.04	0.01	0.00	0.00	0.13	1.16	5.09	7.17	3.90	0.65	18.76
1981-1982	1.50	0.73	0.18	0.06	0.00	0.01	1.42	3.90	7.22	5.81	2.18	0.14	23.14
1982-1983	3.35	1.71	0.41	0.14	0.00	0.02	2.27	4.45	7.59	6.45	2.35	0.14	28.88
1983-1984	4.27	2.20	0.55	0.19	0.00	0.02	2.82	4.81	7.94	7.70	3.67	0.52	34.70
1984-1985	0.38	0.13	0.03	0.01	0.00	0.00	0.79	3.53	7.82	7.72	3.89	0.67	24.99
1985-1986	2.77	1.38	0.33	0.11	0.00	0.01	2.00	4.29	7.81	7.62	3.80	0.60	30.73
1986-1987	0.40	0.15	0.04	0.01	0.00	0.00	0.52	2.69	6.55	6.48	3.25	0.58	20.67
1987-1988	0.36	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.13	1.64	5.86	7.24	4.10	0.69	20.20
1988-1989	3.89	1.99	0.48	0.17	0.00	0.02	3.01	4.85	6.29	3.75	1.11	0.14	25.71
1989-1990	3.39	1.69	0.41	0.14	0.00	0.02	2.11	4.24	7.43	6.25	2.58	0.31	28.57
1990-1991	3.80	1.90	0.46	0.16	0.00	0.02	2.47	4.61	6.88	5.00	1.80	0.14	27.25
1991-1992	0.38	0.13	0.03	0.01	0.00	0.00	0.13	1.24	5.42	7.46	3.83	0.57	19.21
1992-1993	0.32	0.16	0.04	0.01	0.00	0.00	0.60	3.02	7.72	8.19	3.96	0.64	24.67
1993-1994	0.34	0.13	0.03	0.01	0.00	0.01	1.30	3.86	7.88	7.71	3.89	0.62	25.78
Ortalama	1.70	0.83	0.20	0.07	0.00	0.01	1.32	3.31	6.89	6.85	3.23	0.46	24.87

Kış aylarında açık su yüzeyinden buharlaşma miktarı çok az olduğundan buharlaşma değerleri sıfıra yakın çıkmıştır.



Şekil 4.15 Buharlaşması beklenen optimum su miktarlarının değişimi

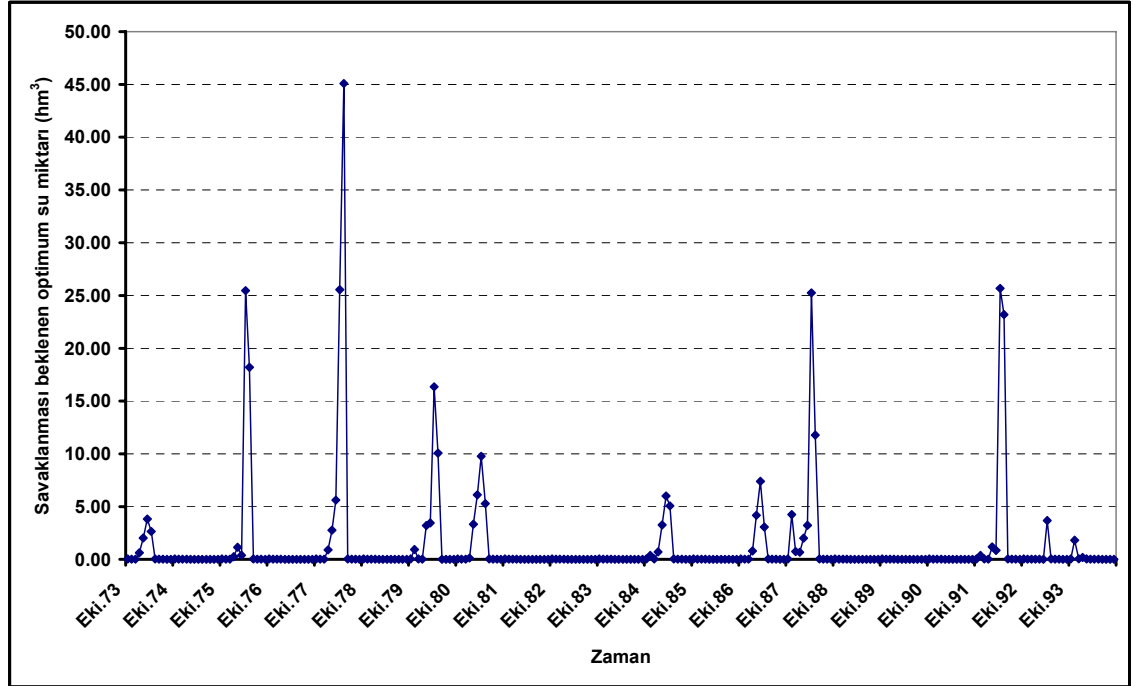
Şekil 4.15'te görüldüğü gibi yaz aylarında sıcaklıklarda meydana gelen artışla birlikte buharlaşma miktarları da artmış ve kış aylarında sıcaklıkların düşmesi ile birlikte buharlaşma miktarları ise azalmış, hatta bazı aylarda sıfıra bile düşmüştür.

Optimizasyon sonuçlarına göre 21 yıllık süre için (Ekim 1973-Eylül 1994) savaklanması beklenen optimum su miktarları çizelge 4.11 ve bunların aylık değişimi şekil 4.16' da verilmiştir.

Çizelge 4.11' den görüleceği gibix aylık bazda savaklanması beklenen optimum su miktarının en çok 1977 yılı Mayıs ayında 45.09 hm^3 olarak gerçekleşmesi beklenirdi. Yıllık toplam savaklanması beklenen su miktarlarında ise en büyük değer 80.06 hm^3 olarak 1977 su yılında gerçekleşmesi beklenirdi. Çizelge 3.15-3.16' de aynı döneme ait akım verilerine bakıldığında 1977 su yılı içinde toplam 212.42 hm^3 akımın gözlendiği görülmektedir. Dolayısı ile 1977 su yılında en çok savaklanmanın meydana gelmesi beklenen bir olaydır.

Çizelge 4.11 21 yıllık savaklanması beklenen optimum su miktarı (hm³)

Su yılı	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1973-1974	0.04	0.02	0.01	0.61	2.02	3.82	2.65	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	9.24
1974-1975	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
1975-1976	0.04	0.02	0.01	0.24	1.15	0.39	25.46	18.19	0.04	0.02	0.01	0.01	45.57
1976-1977	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
1977-1978	0.04	0.02	0.02	0.90	2.76	5.61	25.55	45.09	0.04	0.02	0.01	0.01	80.06
1978-1979	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
1979-1980	0.04	0.94	0.04	0.02	3.20	3.45	16.36	10.06	0.00	0.00	0.00	0.00	34.11
1980-1981	0.04	0.02	0.01	0.12	3.33	6.11	9.77	5.28	0.04	0.02	0.01	0.01	24.74
1981-1982	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
1982-1983	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
1983-1984	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
1984-1985	0.04	0.37	0.04	0.70	3.26	6.00	5.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	15.56
1985-1986	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
1986-1987	0.04	0.02	0.01	0.79	4.18	7.39	3.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	15.56
1987-1988	0.04	4.23	0.74	0.67	2.00	3.22	25.26	11.77	0.04	0.02	0.01	0.01	48.00
1988-1989	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
1989-1990	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
1990-1991	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
1991-1992	0.04	0.37	0.04	0.02	1.18	0.85	25.68	23.19	0.04	0.02	0.01	0.01	51.44
1992-1993	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	3.68	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	3.87
1993-1994	0.04	1.81	0.05	0.18	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.15
Ortalama	0.04	0.38	0.05	0.21	1.10	1.76	6.79	5.42	0.01	0.01	0.00	0.00	15.78
Maksimum	0.04	4.23	0.74	0.90	4.18	7.39	25.68	45.09	0.04	0.02	0.01	0.01	80.06



Şekil 4.16 Savaklanması beklenen optimum su miktarı

4.4.2 Türetilmiş akım verilerine uygulanan doğrusal programlama modeline ilişkin sonuçlar

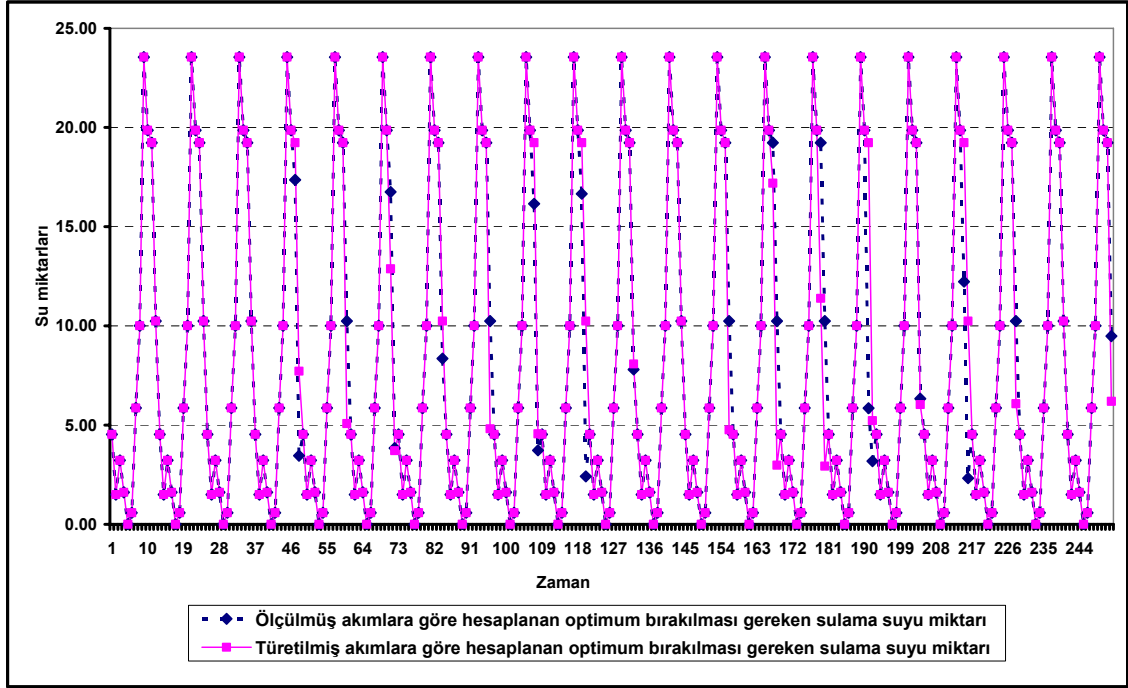
Çalışmada 21 yıllık ölçülmüş akımların istatistiksel özellikleri esas alınarak Monte Carlo yöntemi ile akımlar türetilmiştir. Rastgeleliğe dayanan bu yöntemden elde edilen akım verilerinin gelecek yıllarda meydana gelebileceği düşünülmüştür. Bu varsayım altında optimizasyon modeli türetilmiş akımları girdi olarak alınarak çalıştırılmıştır. Türetilmiş akımlara göre hesaplanan bırakılması gereken optimum sulama suyu miktarları çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12’ den de görüleceği gibi türetilmiş akımlara göre hesaplanan bırakılması gereken optimum sulama suyu miktarlarında Ağustos ve Eylül ayları hariç diğer aylarda talep edilen su miktarları tamamen karşılanmıştır.

Çizelge 4.12 Türetilmiş akımlara göre hesaplanan bırakılması gereken optimum sulama suyu miktarları (hm³)

Su yılı	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
2	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
3	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
4	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	7.72	97.67
5	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	5.08	95.03
6	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	12.87	3.71	87.30
7	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
8	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	4.81	94.76
9	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	4.56	94.51
10	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
11	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	8.08	98.03
12	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
13	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	4.75	94.70
14	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	17.19	2.98	90.88
15	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	11.39	2.93	85.03
16	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	5.23	95.18
17	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	6.03	95.98
18	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
19	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	6.08	96.03
20	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	10.24	100.19
21	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	19.23	6.20	96.15
Ortalama	4.53	1.50	3.22	1.61	0.00	0.58	5.86	10.01	23.55	19.86	18.4566	7.1452	96.32

Her iki durumu değerlendirme amacı ile ölçülen ve türetilmiş akımlardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ölçülmüş ve türetilmiş akım verileri kullanılarak elde edilen bırakılması beklenen optimum sulama suyu miktarlarının karşılaştırılması şekil 4.17 de verilmiştir.

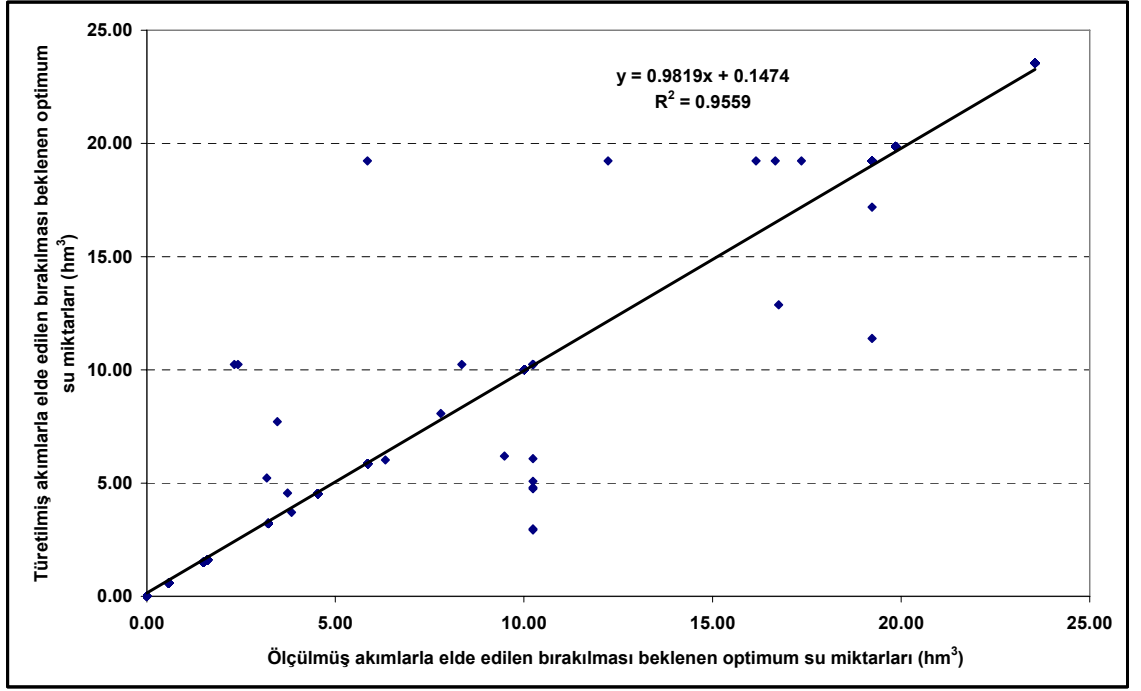


Şekil 4.17 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla hesaplanmış bırakılması beklenen optimumsulama suyu miktarlarının karşılaştırılması

Şekil 4.17 den görüldüğü gibi ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla hesaplanmış bırakılması beklenen optimum sulama suyu miktarları birbirlerine çok yakın bulunmaktadır.

Ayrıca hem ölçülmüş hem de türetilmiş akım verilerine göre elde edilen bırakılması beklenen optimum sulama suyu miktarları arasındaki ilişki şekil 4.18 de verilmiştir.

Şekil 4.18 den de görüleceği gibi ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla elde edilen bırakılması beklenen optimum sulama suyu miktarları arasındaki doğrusal ilişkinin belirtme katsayısı (R^2) 0.95 olarak hesaplanmıştır. Dolayısı ile ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla elde edilen bırakılması beklenen optimum sulama suyu miktarlarının yüksek düzeyde benzediği söylenebilir.



Şekil 4.18 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla elde edilen bırakılması beklenen optimum sulama suyu miktarları arasındaki ilişki

Optimizasyon modeli amaç fonksiyonunda, sulama amacı ile toplam bırakılması gereken su miktarı, türetilmiş akım verileri dikkate alındığında 2022.76 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı değer ölçülmüş akım verileri dikkate alındığında 2022.11 hm³ olarak hesaplanmıştır.

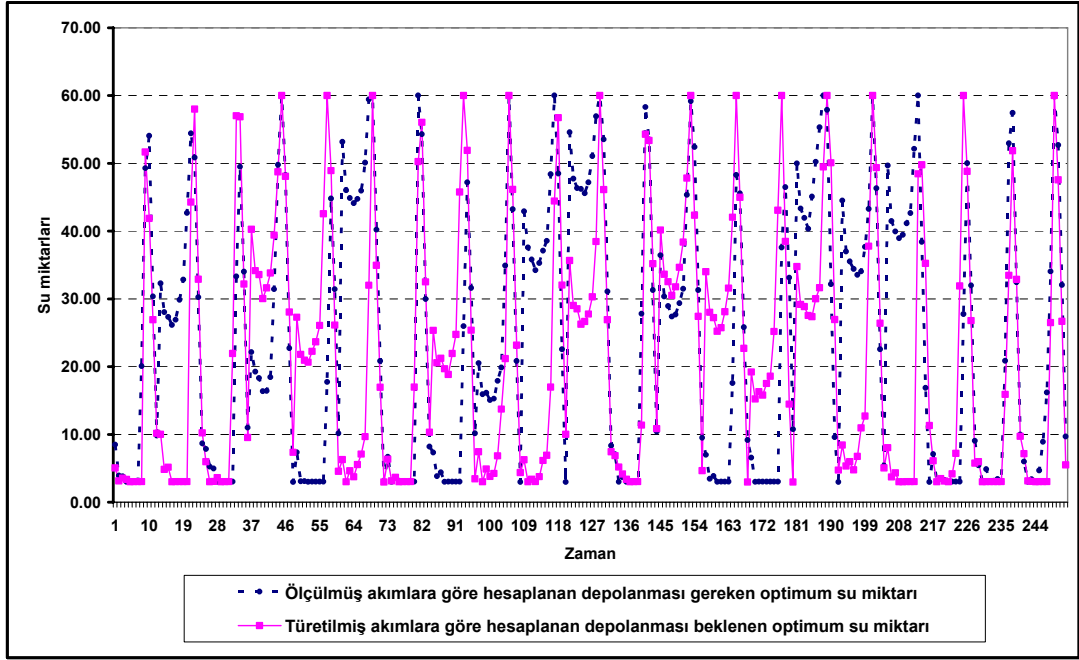
Rezervuar inşası öncesi 21 yıllık türetilmiş akım verilerine göre hesaplanan depolanması gereken optimum su miktarları çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13 Türetilmiş akım verilerine göre hesaplanan depolanması beklenen optimum su miktarları (hm³)

Su yılı	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Maksimum
1	5.05	3.14	3.57	3.36	3.01	3.04	3.04	3.05	51.67	41.88	26.92	10.18	51.67
2	10.01	4.84	5.15	3.01	3.04	3.04	3.04	3.04	44.27	57.98	32.90	10.24	57.98
3	5.98	3.02	3.06	3.61	3.02	3.04	3.04	21.94	57.02	56.85	32.19	9.53	57.02
4	40.26	34.15	33.59	30.03	31.61	33.83	39.39	48.74	60.00	48.09	28.06	7.37	60.00
5	27.28	21.82	20.93	20.66	22.27	23.67	26.10	42.55	60.00	48.92	26.14	4.56	60.00
6	6.29	3.02	4.64	3.74	5.56	7.10	9.68	32.02	60.00	34.94	16.97	3.00	60.00
7	6.33	3.15	3.68	3.01	3.04	3.04	3.04	17.00	50.26	56.05	32.50	10.33	56.05
8	25.36	20.58	21.24	19.70	18.86	21.95	24.76	45.76	60.00	51.92	25.38	3.47	60.00
9	7.44	3.02	4.91	3.80	4.26	6.85	13.73	21.19	60.00	46.14	23.17	4.39	60.00
10	6.27	3.02	3.39	3.05	3.76	6.15	6.93	16.98	44.45	56.74	32.04	10.01	56.74
11	35.67	29.03	28.52	26.28	26.65	27.77	30.31	38.45	60.00	46.13	26.93	7.45	60.00
12	6.87	5.18	4.18	3.38	3.01	3.04	3.04	11.37	54.29	53.38	35.18	10.85	54.29
13	40.17	33.64	32.53	30.52	31.79	34.66	38.38	47.83	60.00	42.33	27.42	4.68	60.00
14	33.99	28.02	27.23	25.23	25.75	28.10	31.59	42.05	60.00	44.99	22.71	3.00	60.00
15	19.21	15.22	16.29	15.82	17.52	18.59	25.20	43.09	60.00	38.48	14.48	3.00	60.00
16	34.75	29.19	28.88	27.54	27.37	30.01	31.64	49.46	60.00	50.07	26.95	4.74	60.00
17	8.43	5.35	5.98	4.78	6.77	10.96	12.72	37.78	60.00	49.38	26.40	5.07	60.00
18	8.06	3.72	4.32	3.01	3.02	3.04	3.04	3.05	48.46	49.78	35.23	11.32	49.78
19	6.11	3.02	3.48	3.11	3.02	4.20	7.22	31.91	60.00	48.83	26.80	5.76	60.00
20	5.99	3.02	3.05	3.04	3.04	3.04	3.04	15.92	33.47	51.86	32.87	9.72	51.86
21	7.17	3.14	3.08	3.01	3.04	3.04	3.04	26.51	60.00	47.55	26.69	5.51	60.00
Ortalama	16.51	12.30	12.46	11.41	11.88	13.25	15.33	28.56	55.42	48.68	27.52	6.87	55.42

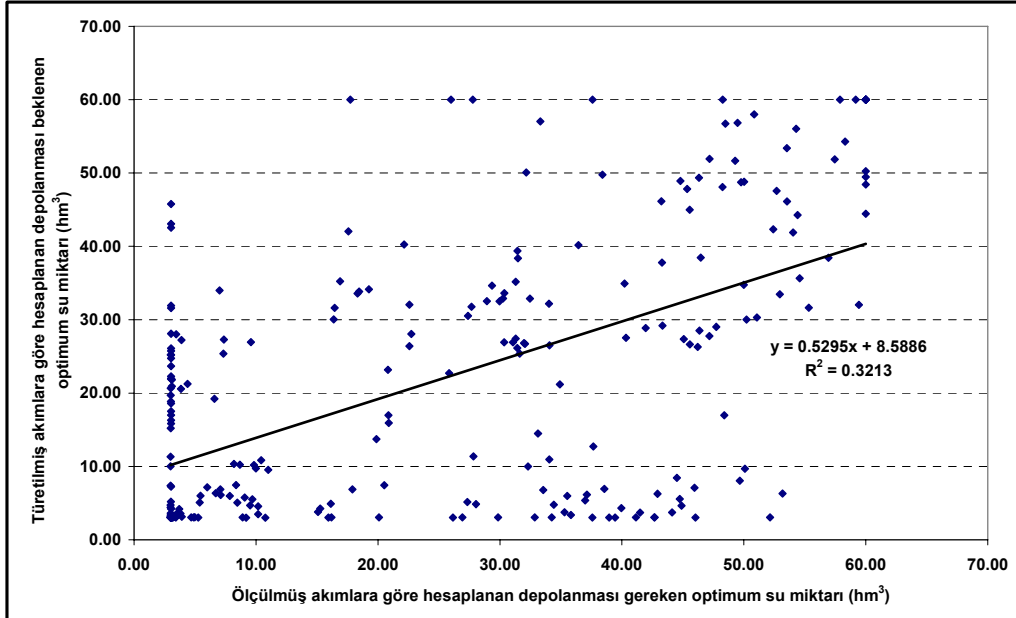
Çizelge 4.13'ten görüldüğü gibi Haziran ayında depolanması beklenen optimum su miktarı bir çok yılda maksimuma ulaşmıştır. Depolanması beklenen optimum su miktarı Eylül ayında ise akımlardaki azalma ve sulama sezonun sonu olması nedeni ile en küçük değerlere ulaşmıştır.

Her iki akım setine ait rezervuarda optimum depolanan su miktarının gösterdiği değişimler şekil 4.19'da verilmiştir. Şekil 4.19 dan görüleceği gibi bazı aylarda farklılıklar mevcuttur. Burada her iki veri setine ait görülen farklılıkların esas kaynağı türetilmiş akım verileri ile gözlenmiş akım verilerinin tam uyum içinde olmamasıdır. Dolayısı ile buradan elde edilmiş sonuçlar her zaman ve her türlü hidrometeorolojik koşullarda kullanılamaz. Daha doğru tahminler için hidrometeorolojik koşullardaki her türlü değişimler hesaba katılmalıdır. Bunun içinde ölçülen veri sayısı çok olmalıdır.



Şekil 4.19 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla hesaplanmış depolanması beklenen optimum su miktarlarının karşılaştırılması

Ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla hesaplanan depolanması beklenen optimum su miktarları arasındaki ilişki şekil 4.20’ de verilmiştir.



Şekil 4.20 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlara göre hesaplanmış depolanması beklenen optimum su miktarları arasındaki ilişki

Şekil 4.20 den görüldüğü gibi ölçülmüş ve türetilmiş akımlara göre hesaplanmış depolanması beklenen optimum su miktarları arasındaki ilişki önemli değildir. Burada elde edilen ilişkinin belirtme katsayısı $R^2 = 0.32$ olarak hesaplanmıştır..

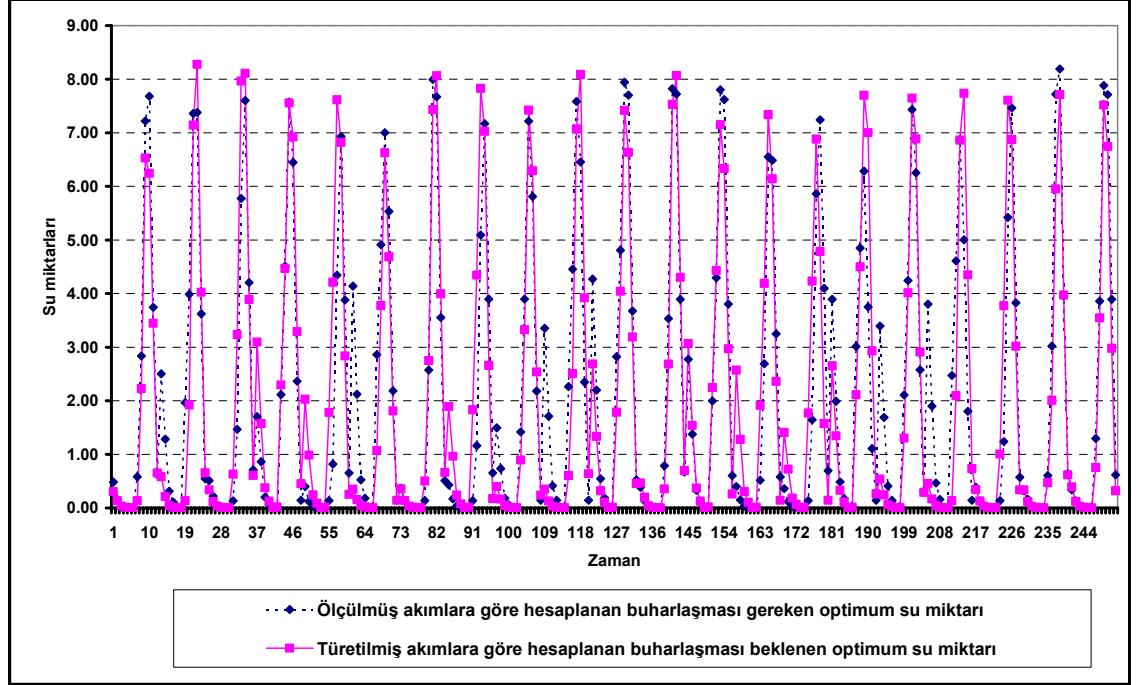
Türetilmiş akımlara göre hesaplanan göl yüzeyinden buharlaşması beklenen optimum su miktarları çizelge 4.14’da verilmiştir.

Çizelge 4.14 Türetilmiş akımlara göre hesaplanan göl yüzeyinden buharlaşması beklenen optimum su miktarları

Su yılı	Aylar (hm ³)												Toplam
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1	0.30	0.13	0.04	0.01	0.00	0.00	0.13	2.23	6.53	6.24	3.45	0.65	19.72
2	0.58	0.21	0.04	0.01	0.00	0.00	0.13	1.92	7.15	8.28	4.03	0.65	23.01
3	0.34	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.63	3.23	7.97	8.11	3.89	0.61	24.94
4	3.10	1.58	0.37	0.13	0.00	0.02	2.30	4.47	7.56	6.92	3.29	0.45	30.17
5	2.03	0.99	0.24	0.09	0.00	0.01	1.78	4.21	7.62	6.82	2.84	0.25	26.87
6	0.35	0.16	0.04	0.02	0.00	0.00	1.07	3.78	6.63	4.69	1.81	0.14	18.69
7	0.36	0.14	0.03	0.01	0.00	0.00	0.50	2.75	7.43	8.07	4.00	0.66	23.95
8	1.89	0.96	0.24	0.08	0.00	0.01	1.83	4.35	7.83	7.03	2.66	0.17	27.05
9	0.40	0.16	0.05	0.01	0.00	0.00	0.89	3.33	7.42	6.29	2.54	0.24	21.34
10	0.35	0.13	0.03	0.01	0.00	0.00	0.60	2.51	7.07	8.09	3.92	0.64	23.35
11	2.69	1.33	0.32	0.11	0.00	0.01	1.79	4.04	7.42	6.64	3.19	0.46	27.99
12	0.47	0.20	0.04	0.01	0.00	0.00	0.35	2.68	7.53	8.07	4.30	0.70	24.34
13	3.07	1.54	0.37	0.13	0.00	0.02	2.25	4.43	7.15	6.33	2.97	0.26	28.51
14	2.57	1.28	0.31	0.10	0.00	0.01	1.91	4.19	7.34	6.14	2.36	0.14	26.37
15	1.41	0.72	0.19	0.07	0.00	0.01	1.77	4.23	6.88	4.79	1.57	0.14	21.78
16	2.65	1.35	0.33	0.11	0.00	0.01	2.11	4.50	7.70	7.00	2.93	0.26	28.96
17	0.54	0.24	0.06	0.02	0.00	0.01	1.30	4.01	7.65	6.89	2.91	0.29	23.92
18	0.45	0.17	0.04	0.01	0.00	0.00	0.13	2.09	6.86	7.74	4.35	0.73	22.58
19	0.34	0.13	0.03	0.01	0.00	0.00	1.00	3.77	7.61	6.87	3.01	0.34	23.13
20	0.34	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.47	2.01	5.95	7.71	3.97	0.62	21.24
21	0.39	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.75	3.55	7.52	6.75	2.98	0.32	22.42
Ortalama	1.17	0.56	0.14	0.05	0.00	0.01	1.13	3.44	7.28	6.93	3.19	0.42	24.30

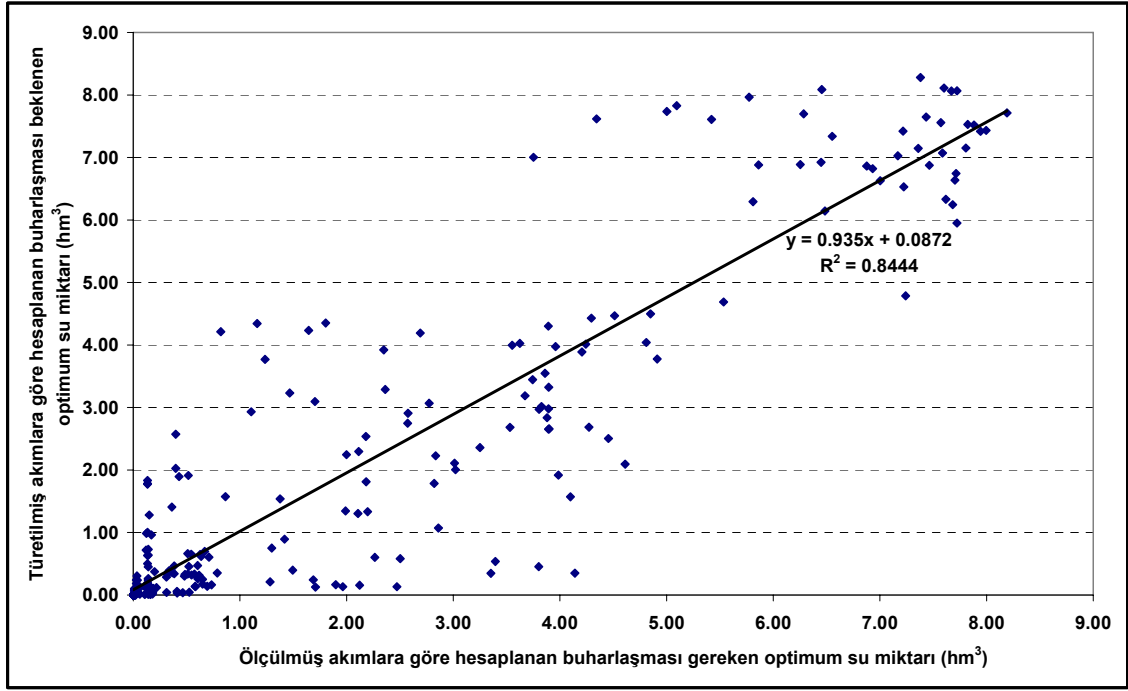
Çizelge 4.14 den görüldüğü gibi rezervuar göl yüzeyinden olan buharlaşma miktarının az olduğu aylar sırası ile Şubat, Mart ve Ocak ve hava sıcaklıklarının artması ile birlikte buharlaşma miktarının arttığı aylar Haziran ve Temmuz aylarıdır. Haziran ayında buharlaşmanın çok olmasının bir başka nedeni ise bu ayda rezervuarda depolanan su miktarının ve göl yüzeyi alanın fazla olmasıdır. Rezervuar göl yüzeyinden olan yıllık buharlaşma miktarının ortalama 24.30 hm³ olması beklenir (Çizelge 4.14).

Her iki akım veri setine göre kurulan optimizasyon modelinin sonuçlarına göre optimum buharlaşma miktarının karşılaştırılması şekil 4.21’ de verilmiştir.



Şekil 4.21 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla hesaplanmış buharlaşması beklenen optimum su miktarlarının karşılaştırılması

Ölçülmüş ve türetilmiş akımlara göre hesaplanan buharlaşması beklenen optimum su miktarları arasındaki ilişki şekil 4.22 verilmiştir.



Şekil 4.22 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlara göre hesaplanan optimum buharlaşması beklenen su miktarları arasındaki ilişki

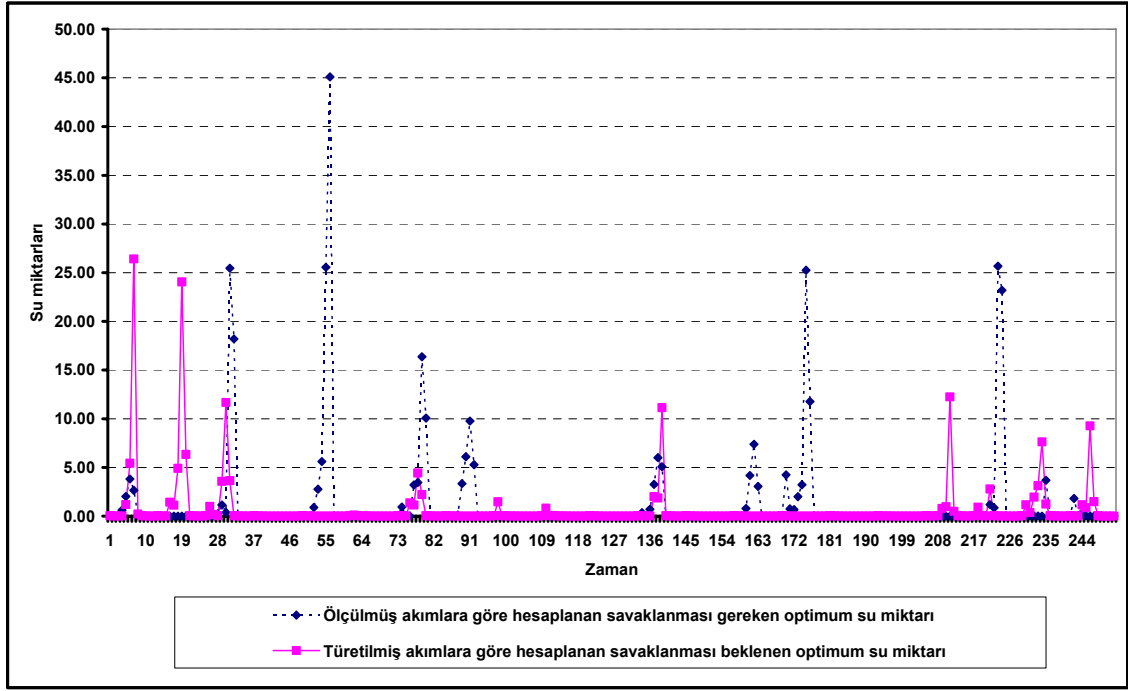
Şekil 4.22’den anlaşıldığı gibi, ölçülmüş ve türetilmiş akımlara göre hesaplanan buharlaşması beklenen optimum su miktarları arasında önemli sayılabilecek bir ilişki bulunmaktadır ($R^2 = 0.84$).

Türetilmiş akım verileri kullanılarak hesaplanan savaklanması beklenen optimum su miktarları çizelge 4.15’te verilmiştir.

Çizelge 4.15 Türetilmiş akımlara göre hesaplanan savaklanması beklenen optimum su miktarları

Su yılı	Aylar (hm ³)												Toplam
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1	0.04	0.02	0.01	0.01	1.18	5.43	26.41	0.20	0.03	0.02	0.01	0.01	33.37
2	0.04	0.02	0.01	1.44	1.13	4.89	24.06	6.33	0.04	0.02	0.01	0.01	37.98
3	0.04	0.99	0.16	0.04	3.56	11.67	3.65	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	20.18
4	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
5	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
6	0.04	0.12	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
7	0.04	0.02	0.01	1.36	1.15	4.42	2.22	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	9.29
8	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
9	0.04	1.46	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60
10	0.04	0.82	0.05	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	1.03
11	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
12	0.04	0.02	0.01	0.01	2.00	1.88	11.14	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	15.18
13	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
14	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
15	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
16	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
17	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
18	0.04	0.02	0.01	0.03	0.78	0.97	12.25	0.49	0.03	0.02	0.01	0.01	14.65
19	0.04	0.92	0.04	0.03	2.79	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.89
20	0.04	1.16	0.36	1.95	3.12	7.64	1.24	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	15.58
21	0.04	0.02	0.02	1.16	0.86	9.26	1.48	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	12.86
Ortalama	0.04	0.27	0.04	0.29	0.79	2.20	3.93	0.35	0.01	0.00	0.00	0.00	7.94
Maksimum	0.04	1.46	0.36	1.95	3.56	11.67	26.41	6.33	0.04	0.02	0.01	0.01	37.98

Ölçülmüş ve türetilmiş akım verileri kullanılarak elde edilen optimizasyon modeline göre rezervuardan savaklanması beklenen optimum su miktarlarının aylık değişimi şekil 4.23 de verilmiştir. Akım değerlerindeki önemli sıçramaların gerçekleştiği zaman dilimlerinde savaklanma olması beklenebilir. Türetilmiş akımlar rastgele olduklarından dolayı kabul edilmiş belli bir dağılıma uymasına rağmen bazı dönemlerde ekstrem değerler alması doğaldır. Savaklanmada meydana gelen zaman aralıkları ise bunun bir göstergesidir. Şekil 4.23’ ten görüldüğü gibi 45 hm³ civarında olası bir taşkın meydana gelebilir. Taşkından korunmak için işletme ekipleri her zaman hazır durumda bulunmalı ve mansapta zarar görebilecek tarım alanları ve yerleşim yerlerindeki ilgilileri taşkından korunma konusunda uyarmalıdır. Akım verileri üzerinde yapılacak yeni simülasyonla meydana gelebilecek taşkınların debileri ve zamanlarında farklılıklar oluşabilir.



Şekil 4.23 Ölçülmüş ve türetilmiş akımlarla hesaplanmış savaklanması beklenen optimum su miktarlarının karşılaştırılması

4.4.3 İşletme sonrası uygulanan doğrusal programlama modeline ilişkin sonuçlar

Eleviyan sulama rezervuarında Ekim 1997 ile Eylül 2007 tarihleri arasındaki Sofi Çayı akım verileri dikkate alınarak optimizasyon modeli kullanılmıştır. Ekim 1997 den itibaren rezervuar işletmeye açılmış ve işletme sırasında rezervuara giren ve çıkan su miktarları kaydedilmiştir. Rezervuara ait işletme verileri barajı yönetmenliği veri tabanında bulunmaktadır. Rezervuara giren aylık akımların 10 yıllık işletme süresi boyunca gösterdiği değişim Şekil 4.7’ de verilmiştir.

Şekil 4.7’ den de görüldüğü gibi Temmuz 1998 ile Mart 2002 yılları arası kurak döneme denk gelmiştir, ancak Nisan 2002’den 2007 Eylül’e kadar nispeten yağışlı dönem söz konusudur. “İşletme sonrası ölçülen değerlere göre elde edilen rezervuarın performansı, gözlem süresi boyunca optimizasyon modeli sonuçları ile karşılaştırdığımızda nasıl bir değişim gösterebilir?” sorusuna yanıt bulma amacı ile optimizasyon modeli çalıştırılmıştır. İşletme sonrası ve özellikle ilk yıllar ve aylarda ne kadar arazi sulamaya açılmış, planlanan bitki deseni ne kadar dikkate alınmış veya işletme elemanları hangi düzeyde çalışmış sorularının cevabı bilinmemektedir. Dolayısı ile ilk yıllarda meydana

gelen değişimlerin kesin olarak neden kaynaklandığı hakkında net bir fikir söylemek pek güvenilir olamaz.

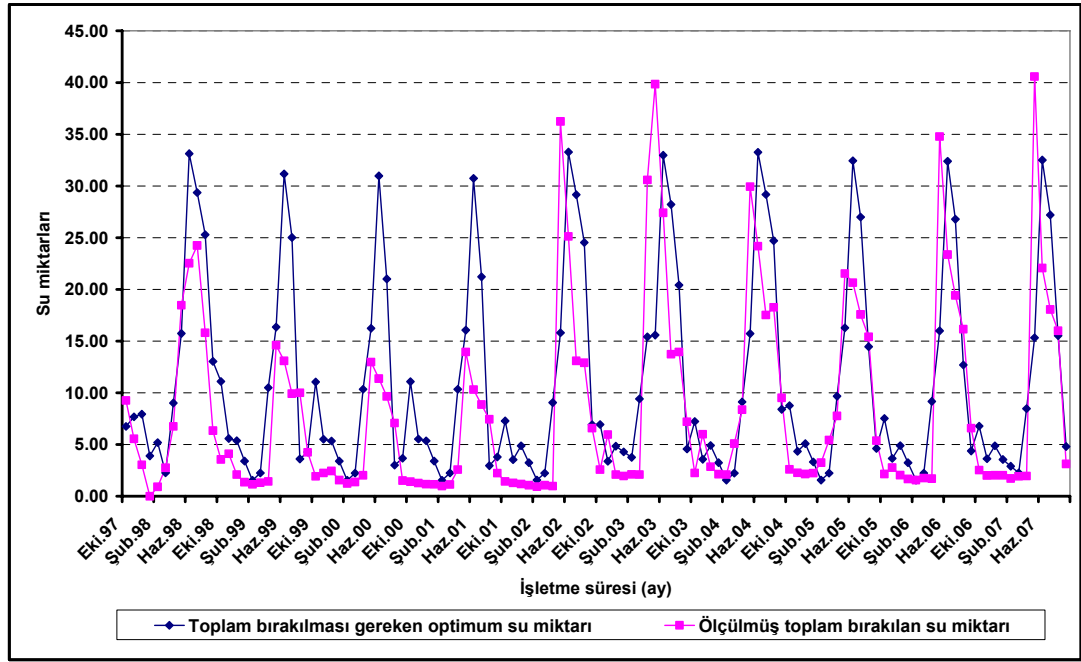
Eleviyan sulama rezervuarında Ekim 1997 ile Eylül 2007 tarihleri arasındaki ölçülmüş toplam bırakılan su miktarları ile optimizasyon modelinden elde edilen toplam bırakılması gereken optimum su miktarları çizelge 4.16 -4.17’ de verilmiştir.

Çizelge 4.16 Ölçülmüş toplam bırakılan su miktarları

Su yılı	Aylar (hm ³)												Toplam
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1997-1998	9.25	5.55	3.03	0.00	0.91	2.76	6.76	18.47	22.52	24.25	15.81	6.33	115.64
1998-1999	3.55	4.11	2.10	1.35	1.14	1.31	1.43	14.60	13.09	9.92	10.00	4.25	66.85
1999-2000	1.93	2.26	2.44	1.56	1.24	1.38	2.03	12.98	11.38	9.66	7.08	1.51	55.43
2000-2001	1.41	1.27	1.17	1.16	0.98	1.13	2.58	13.95	10.32	8.87	7.43	2.24	52.50
2001-2002	1.43	1.30	1.19	1.06	0.92	1.07	0.99	36.24	25.13	13.09	12.90	6.59	101.90
2002-2003	2.58	5.97	2.10	1.97	2.12	2.09	30.59	39.84	27.40	13.73	13.96	7.19	149.54
2003-2004	2.26	6.00	2.85	2.12	2.10	5.08	8.36	29.94	24.17	17.53	18.26	9.51	128.19
2004-2005	2.60	2.26	2.15	2.23	3.24	5.43	7.77	21.53	20.66	17.58	15.41	5.37	106.25
2005-2006	2.16	2.76	2.04	1.67	1.56	1.76	1.70	34.78	23.37	19.42	16.16	6.58	113.94
2006-2007	2.53	2.02	2.03	2.02	1.72	1.93	1.96	40.58	22.07	18.06	16.00	3.13	114.05
Ortalama	2.97	3.35	2.11	1.51	1.59	2.39	6.42	26.29	20.01	15.21	13.30	5.27	100.43

Çizelge 4.16 ‘dan görüldüğü gibi 1998-2001 ve 2004-2006 yılları arasında rezervuardan bırakılan ölçülmüş toplam yıllık su miktarları; sulama, içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarını (123 hm³) karşılayamamaktadır. Rezervuarın 10 yıllık işletilmesi süresince ortalama 100.43 hm³ su toplam sulama ve içme kullanma su ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile rezervuardan bırakılmıştır.

Şekil 4.24’de işletme süresi boyunca rezervuardan toplam bırakılan su miktarları optimizasyon modeline göre hesaplanmış ve gerçek bırakılan su miktarları ile karşılaştırılmıştır. Rezervuar yöneticileri içme ve kullanma suyu ile sulamaya ayrılan su miktarını birleşik olarak kaydetmişlerdir. Bu nedenle çalışmada da doğru bir karşılaştırma olması için optimizasyon modelinden elde edilen sulama suyu miktarları içme ve kullanma suyu talepleri ile toplanmış ve karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.24 Toplam bırakılması gereken optimum su miktarları ile ölçülmüş bırakılan su miktarlarının karşılaştırılması

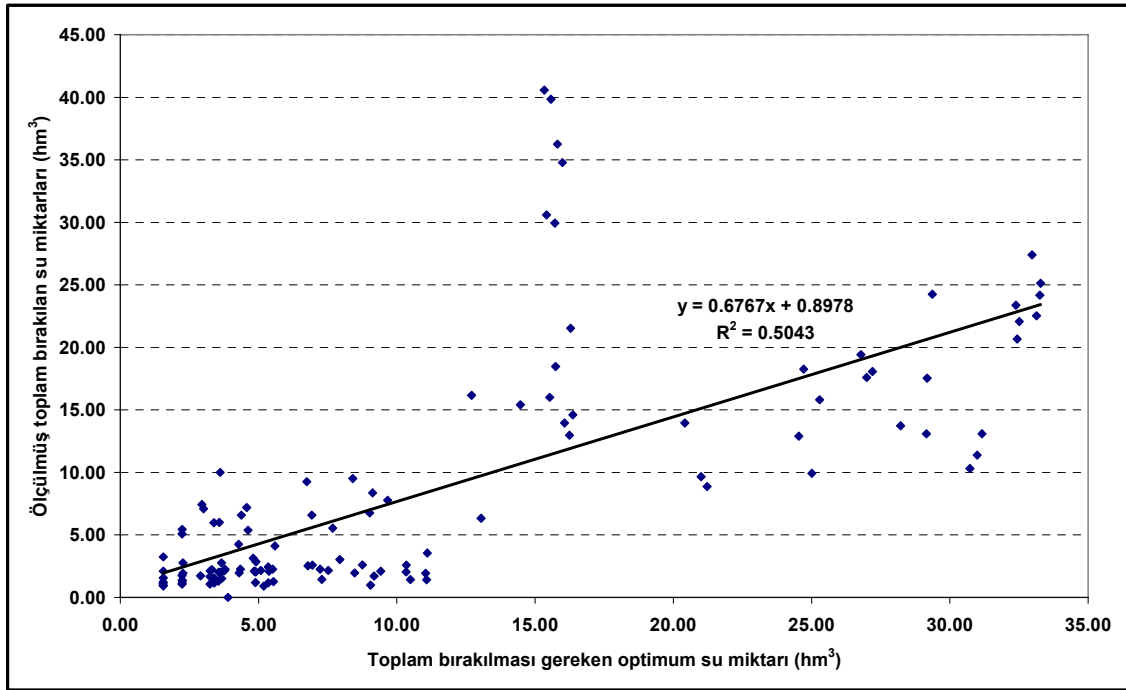
Şekil 4.24' den de görüldüğü gibi Ekim 1997 tarihinden itibaren Ekim 2001 tarihleri arasında farklılıklar önemli bir düzeydedir. Ancak ondan sonraki sürede bırakılan su miktarları bırakılması gereken optimum su miktarlarına yaklaşmıştır. Planlamaya göre daha geç ekim yapılan tarım alanları ve o sırada sulama suyuna olan ihtiyaçlardaki azalmalar ve şekil 4.7' de görüldüğü gibi Sofi Çay akımlarında meydana gelen azalmalar bu farklılıkların olası nedenleri içinde olabilir.

Çizelge 4.17 Toplam bırakılması gereken optimum su miktarları

Su yılı	Aylar (hm ³)												Toplam
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1997-1998	6.75	7.69	7.94	3.89	5.19	2.27	9.02	15.74	33.13	29.37	25.29	13.05	159.32
1998-1999	11.10	5.59	5.38	3.41	1.55	2.24	10.49	16.36	31.16	25.01	3.61	4.28	120.20
1999-2000	11.05	5.51	5.35	3.40	1.55	2.24	10.34	16.24	30.99	21.01	3.01	3.67	114.35
2000-2001	11.08	5.54	5.36	3.40	1.55	2.24	10.35	16.06	30.73	21.22	2.95	3.79	114.27
2001-2002	7.29	3.55	4.89	3.25	1.56	2.23	9.05	15.81	33.29	29.15	24.54	6.93	141.53
2002-2003	6.94	3.38	4.85	4.30	3.76	9.42	15.42	15.58	32.97	28.22	20.42	4.57	149.83
2003-2004	7.23	3.58	4.91	3.25	1.56	2.23	9.13	15.72	33.26	29.18	24.71	8.41	143.16
2004-2005	8.76	4.34	5.08	3.31	1.56	2.24	9.67	16.28	32.44	27.00	14.47	4.62	129.76
2005-2006	7.52	3.66	4.90	3.25	1.56	2.23	9.18	15.99	32.39	26.78	12.70	4.38	124.55
2006-2007	6.78	3.63	4.88	3.56	2.90	2.27	8.48	15.33	32.51	27.20	15.53	4.81	127.88
Ortalama	8.45	4.65	5.35	3.50	2.27	2.96	10.11	15.91	32.29	26.41	14.72	5.85	132.48

Çizelge 4.17' den görüldüğü gibi rezervuardan bırakılması gereken optimum su miktarları; toplam sulama, içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarını (123 hm^3) 1998-2000 yılları arasında tam olarak karşılayamamaktadır. Diğer yıllarda ise bırakılması beklenen optimum su miktarlarının toplam ihtiyaçtan fazla olduğu görülmektedir. Rezervuarın 10 yıllık işletilmesi süresince ortalama 132.48 hm^3 su toplam sulama ve içme kullanma su ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile rezervuardan bırakılmıştır.

Eleviyan sulama rezervuarında Ekim 1997 ile Eylül 2007 tarihleri arasındaki ölçülmüş toplam bırakılan su miktarları ile optimizasyon modelinden elde edilen toplam bırakılması gereken optimum su miktarları arasındaki ilişki şekil 4.25' de verilmiştir.



Şekil 4.25 Ölçülmüş ve optimum toplam bırakılan su miktarları arasındaki ilişki

Şekil 4.25'den görüldüğü gibi 10 yıllık rezervuar işletmesi süresince ölçülmüş ve optimum toplam bırakılan su miktarları arasındaki ilişkinin belirtme katsayısı $R^2 = 0.50$ dir. Belirtme katsayısının küçük olması ölçülmüş ve optimum bırakılması gereken su miktarları arasındaki farklılıkların önemli olduğunu göstermektedir. Bu farkların rezervuarın işletmeye açılmasından sonraki yıllarda özellikle ilk 5 yılda giren akımların azlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Eleviyan sulama rezervuarında Ekim 1997 ile Eylül 2007 tarihleri arasındaki ölçülmüş depolanan su miktarları ile optimizasyon modelinden elde edilen depolanması gereken optimum su miktarları çizelge 4.18 - 4.19’ da verilmiştir.

Çizelge 4.18 Ekim 1997 ile Eylül 2007 arasında ölçülmüş depolanan su miktarları

Su yılı	Aylar (hm ³)												Maksimum
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1997-1998	17.16	16.90	11.51	6.55	8.47	12.95	31.61	55.72	51.29	42.92	22.35	15.83	55.72
1998-1999	15.07	14.50	15.13	22.21	18.19	21.45	31.24	37.79	30.40	23.74	16.65	10.75	37.79
1999-2000	9.30	9.42	9.67	10.63	12.36	14.78	24.11	32.63	26.63	19.18	11.07	7.36	32.63
2000-2001	7.30	8.48	10.29	12.09	13.88	17.29	26.74	30.38	25.18	19.27	12.87	8.64	30.38
2001-2002	8.44	9.50	11.63	15.31	18.16	24.38	42.53	59.24	58.94	54.30	43.41	34.11	59.24
2002-2003	32.13	31.37	30.43	32.61	34.53	38.47	53.69	57.83	54.15	45.29	33.28	22.91	57.83
2003-2004	21.43	22.13	21.44	23.28	25.49	32.54	39.97	57.60	58.72	53.21	39.53	26.43	58.72
2004-2005	23.50	23.98	25.91	26.86	27.95	29.78	39.82	55.62	50.06	38.10	23.20	14.09	55.62
2005-2006	12.50	12.45	12.62	14.03	16.45	22.04	41.57	58.95	51.45	37.26	21.62	11.34	58.95
2006-2007	10.54	14.87	16.39	17.54	19.17	22.07	34.18	56.77	52.76	37.11	21.90	11.98	56.77
Ortalama	15.74	16.36	16.50	18.11	19.46	23.57	36.55	50.25	45.96	37.04	24.59	16.34	50.25

Çizelge 4.18’den görüldüğü gibi ölçülmüş depolanan su miktarı, sulama sezonunun sonuna yaklaşılması ve akımlarda meydana gelen azalmalardan dolayı genellikle Eylül ayında en düşük değere ulaşmaktadır. Mayıs ve Haziran aylarında ise yağışların ve dolayısı ile akımların fazla olması nedeni ile 1997-2006 yılları arasındaki süre için ortalama olarak sırası ile 50.25 hm³ ve 45.96 hm³ suyun rezervuarda depolandığı görülmektedir.

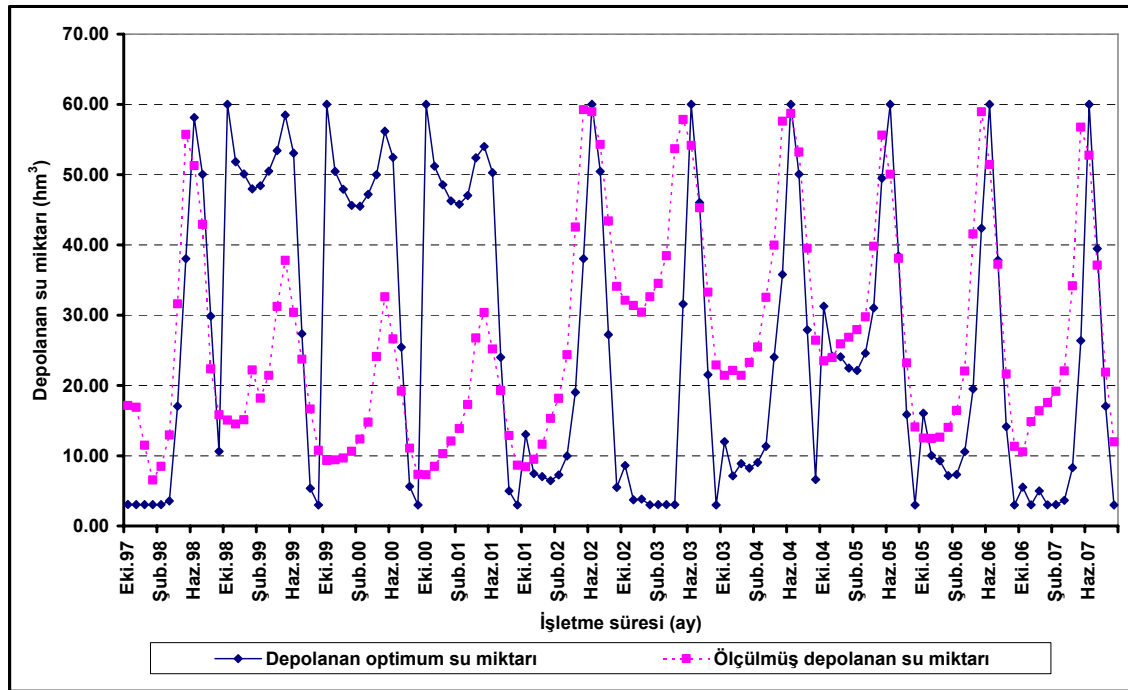
Çizelge 4.19 Depolanması beklenen optimum su miktarları (hm³)

Su yılı	Aylar (hm ³)												Maksimum
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1997-1998	3.06	3.03	3.04	3.05	3.04	3.58	17.04	38.05	58.14	50.04	29.88	10.64	58.14
1998-1999	60.00	51.85	50.08	47.98	48.43	50.50	53.44	58.48	53.05	27.35	5.36	3.00	60.00
1999-2000	60.00	50.45	47.92	45.63	45.49	47.18	49.98	56.18	52.45	25.45	5.63	3.00	60.00
2000-2001	60.00	51.19	48.57	46.25	45.78	47.02	52.40	54.01	50.27	24.00	5.00	3.00	60.00
2001-2002	13.03	7.46	7.02	6.45	7.26	9.97	19.04	38.03	60.00	50.45	27.24	5.49	60.00
2002-2003	8.63	3.73	3.83	3.01	3.04	3.04	3.04	31.59	60.00	46.02	21.52	3.00	60.00
2003-2004	12.00	7.14	8.88	8.24	9.04	11.35	24.03	35.80	60.00	50.06	27.91	6.60	60.00
2004-2005	31.27	24.13	24.08	22.46	22.12	24.57	31.04	49.47	60.00	38.41	15.86	3.00	60.00
2005-2006	16.05	10.02	9.27	7.17	7.32	10.56	19.50	42.38	60.00	37.82	14.14	3.00	60.00
2006-2007	5.51	3.02	5.01	3.02	3.04	3.66	8.30	26.38	60.00	39.47	17.05	3.00	60.00
Ortalama	26.95	21.20	20.77	19.33	19.46	21.14	27.78	43.04	57.39	38.91	16.96	4.37	57.39

Çizelge 4.19’den görüldüğü gibi depolanması beklenen optimum su miktarı sulama sezonunun sonuna yaklaşılması ve akımlarda meydana gelen azalmalardan dolayı genellikle Eylül ayında en düşük değere ulaşmaktadır. Haziran ayında ise yağışların ve dolayısı ile akımların fazla olması nedeni ile 1997-2006 yılları arasındaki süre için ortalama olarak 57.39 hm^3 suyun rezervuarda depolanması beklenmektedir.

Çizelge 4.18 ve çizelge 4.19’ de verilen su miktarlarına göre ölçülmüş depolanan su miktarları, depolanması beklenen optimum su miktarlarına göre azdır.

Ölçülmüş depolanan su miktarları ile depolanan optimum su miktarlarının karşılaştırılması şekil 4.26 de verilmiştir.

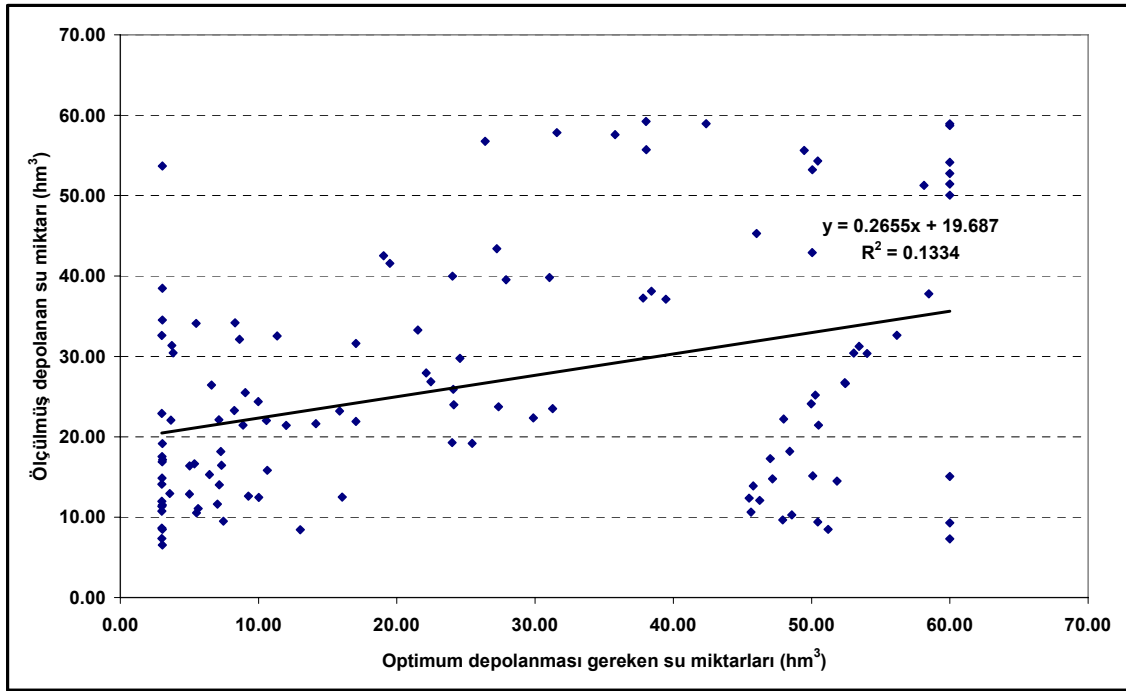


Şekil 4.26 Ölçülmüş depolanan su miktarları ile depolanan optimum su miktarlarının karşılaştırılması

Şekil 4.26 dan görüldüğü gibi Ekim 1998 den başlayarak Haziran 2001 tarihine kadar rezervuarda depolanması gereken optimum su miktarına göre daha az su depolanmıştır. Çünkü söz konusu tarihler arasında ölçülmüş akım verileri diğer yıllara göre oldukça düşüktür (Şekil 4.7). Daha sonra değişimler pek fazla olmamış ve optimum depolanan su miktarı ile gözlenmiş depolanan su miktarları hemen hemen birbirine yaklaşmıştır.

Bu bağlamda 2003 ile 2007 yılları arasında kabul edilir düzeyde bir işletme sergilenmiştir.

Eleviyan sulama rezervuarında Ekim 1997 ile Eylül 2007 tarihleri arasındaki ölçülmüş depolanan su miktarları ile optimizasyon modelinden elde edilen depolanması gereken optimum su miktarları arasındaki ilişki Şekil 4.27’ de verilmiştir.



Şekil 4.27 Ölçülmüş depolanan ve optimum depolanan su miktarları arasındaki ilişki

Şekil 4.27 den görüldüğü gibi ölçülmüş ve optimum depolanan su miktarları arasındaki ilişki yok denecek kadar azdır ($R^2 = 0.13$).

4.5 Veri Madenciliği Sonuçları

Eleviyan rezervuarında farklı dönemlere ait aşağıdaki veriler kullanılarak veri madenciliği uygulaması yapılmıştır.

1. Rezervuarın inşasından önceki 21 yıllık sürede (Ekim 1973 ile Eylül 1994) bırakılacak optimum sulama suyu miktarları verileri kullanılmıştır.

2. Rezervuarın inşasından önceki 21 yıllık (Ekim 1973 ile Eylül 1994) Monte Carlo simülasyonundan türetilmiş akımlara göre bırakılacak optimum sulama suyu miktarları kullanılmıştır.
3. 10 yıllık (Ekim 1997 ile Eylül 2007) işletme süresine ilişkin verilere uygulanan optimizasyon sonuçlarına ait veriler kullanılmıştır.
4. 10 yıllık (Ekim 1997 ile Eylül 2007) işletme süresine ait ölçülen veriler kullanılmıştır.

4.5.1 Rezervuarın inşasından önceki 21 yıllık (Ekim 1973-Eylül 1994) bırakılacak optimum su miktarları verilerine göre elde edilen sonuçlar

Quinlan (1993) tarafından geliştirilen C5.0 algoritmasına dayalı See5 yazılımı karar ağaçlarının oluşturulması ve değerlendirilmesinde kullanılan bir programdır. See5 sınıflandırıcı işlevi olan karar ağaçlarını veya kurallar setini oluşturabilir. Bu çalışmada işletme kurallarının çıkarılmasında See5 yazılımı kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan birinci veri setinde ilk olarak rezervuarın inşasından önceki koşullar dikkate alınmıştır. Bu aşamada 8 özellik (I, toplam I, ST, DE, FS1, FS12, zaman ve talebin karşılanma oranı) dikkate alınsa da See5 yazılımı bunların 5'ini elemiş ve sadece 3 özelliği dikkate almıştır. Bu elemeler her özelliğin önemi ve hesaplanmış entropi esasında yapılmaktadır. See5 yazılımı sınıflama aşamasında talep ve depolanan su miktarı özelliklerini önemli özellik olarak ortaya koymuştur. Bu aşamada 200 durum eğitim sırasında ve 52 durum test sırasında kullanılmıştır.

Elde edilen kurallar:

1. kural : (119, lift 1.2)

$$DE > 0$$

$$DE \leq 10.01$$

-> sınıf Tam [0.992]

Birinci kuralın açıklaması: *Eğer* rezervuar sisteminde sulama suyu talebi (DE) 10.01 hm^3 ten küçük veya eşit olur *ise* talebi karşılama sınıfı tam olacaktır. Diğer bir deyişle

talep tamamen karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 99.2'dir. Eğitim aşamasında 119 durum bu kurala uymuştur.

2. kural: (95, lift 1.2)

$$DE > 0$$

$$ST > 22.74$$

-> sınıf Tam [0.990]

İkinci kuralın açıklaması: *Eğer* rezervuar sisteminde sulama suyuna talep varsa ve depolanan su miktarı (ST) 22.74 hm³'ün üzerinde *ise* talebi karşılama sınıfı tam olacaktır. Diğer bir deyişle talep tamamen karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 99.0'dur. Eğitim aşamasında 95 durum bu kurala uymuştur.

3. kural: (75, lift 1.2)

$$DE > 0$$

$$DE \leq 10.24$$

$$ST > 8.48$$

-> sınıf Tam [0.987]

Üçüncü kuralın açıklaması: *Eğer* rezervuar sisteminde sulama suyu talebi 10.24 hm³'ten küçük veya eşit ve depolanan su miktarı 8.48 hm³ üzerinde *ise* talebi karşılama sınıfı tam olacaktır. Diğer bir deyişle talep tamamen karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 98.7'idir. Eğitim aşamasında 75 durum bu kurala uymuştur.

4. kural: (6/2, lift 25.0)

$$DE > 10.24$$

$$ST \leq 22.74$$

-> sınıf Yüksek [0.625]

Dördüncü kuralın açıklaması: *Eğer* rezervuar sisteminde sulama suyu talebi 10.24 hm³'ün üzerinde ve depolanan su miktarı 22.74 hm³'ten küçük veya eşit *ise* talebi karşılama sınıfı yüksek olacaktır. Diğer bir deyişle talep yüksek düzeyde

karşılacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 62.5'tir. Eğitim aşamasında 6 durum bu kurala uymuş ve 2 durum ise uymamıştır.

5. kural: (2/1, lift 20.0)

$$DE > 10.01$$

$$ST > 3$$

$$ST \leq 8.48$$

-> sınıf Yüksek [0.500]

Beşinci kuralın açıklaması: *Eğer* sulama suyu talebi 10.01 hm³'ten büyük, depolanan su miktarı 3 hm³'ten büyük ve 8.48 hm³'ten küçük veya eşit *ise* talebi karşılama sınıfı yüksek olacaktır. Diğer bir deyişle talep yüksek düzeyde karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 50.0 dir. Eğitim aşamasında 2 durum bu kurala uymuş ve bir durum ise uymamıştır. Görüldüğü gibi bu kural pek güvenilir bir kural değildir. Rezervuar yöneticisi işletme sırasında ve kendi deneyimine dayanarak bu kuralı ihmal edebilir.

6. kural : (5, lift 28.6)

$$ST \leq 3$$

-> sınıf Az [0.857]

Altıncı kuralın açıklaması: *Eğer* rezervuar sisteminde depolanan su miktarı 3 hm³'e eşit veya küçük *ise* talebin karşılama sınıfı az olacaktır. Diğer bir deyişle talebin bir kısmı karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 87.5'tir. Eğitim aşamasında 5 durum bu kurala uymuştur.

7. kural: (17, lift 11.1)

$$DE \leq 0$$

-> Sınıf "Sulama suyuna ihtiyaç yoktur" [0.947]

Yedinci kuralın açıklaması: *Eğer* sulama suyu talebi sıfır *ise* sulama suyuna ihtiyaç yoktur. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 94.7'idir. Bu kural sulama suyuna ihtiyaç olmayan şubat ayını göstermektedir. Eğitim süresince 17 kere şubat ayı görülmüştür.

Şubat ayında sulama suyuna ihtiyaç olmadığı için bu kural ihmal edilebilir. Eğitim aşamasında 17 durum bu kurala uymuştur.

Bu aşamada toplam 200 durumdan 170 durumu tam sınıfına girdiğinden dolayı modelde varsayılan sınıf, tam sınıf olmaktadır (Çizelge 4.20). Eğitim verilerinin değerlendirilmesi (200 durum): Burada 7 kural elde edilmiştir. Toplam 200 durum için hata sayısı 3 (% 1.5) olarak hesaplanmıştır.

See5 yazılımı daha ayrıntılı değerlendirme amacı ile difüzyon matrisini sunmaktadır. Difüzyon matrisi tüm eğitilmiş durumlara göre olası yanlış sınıflamayı ve durumların sınıflar arası dağılımını göstermektedir.

Çizelge 4.20 Eğitim süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 1)

Talebi Karşılama Sınıfları						Modelin Belirlediği Sınıflama
Tam	Yüksek	Orta	Az	Hiç	*Sİ	
170	1					
	5					
	1					
	1			5		
					17	*Sİ

*Sİ: Sulama suyuna ihtiyaç yoktur

Çizelge 4.20' dan da görüldüğü gibi çapraz hattın dışında olan durumlar (Çizelgede gri kutularda belirtilen 3 durum) yanlış tahmin olan durumlardır. Çizelge 4.8 veya şekil 4.13' den de görüldüğü gibi Ağustos ve Eylül ayları hariç talep edilen sulama suyu miktarı tam olarak karşılanmaktadır. Ancak Ağustos ve Eylül aylarında depolanan su miktarındaki azalmalar nedeni ile talepler bazı yıllarda tam olarak karşılanamamıştır. Bu aylarda taleplerin tam olarak karşılanamadığından dolayı hata ortaya çıkmıştır.

Test verilerinin değerlendirilmesi (52 durum): Burada 200 eğitim durumu ile elde edilmiş 7 kural 52 durumla test edilmiştir. Test sonucuna göre 52 durumdan 3 durum yanlış tahmin edilmiştir (% 5.8). Burada da test sonuçlarının değerlendirilmesi için difüzyon matrisi çizelge 4.21’ de verilmiştir.

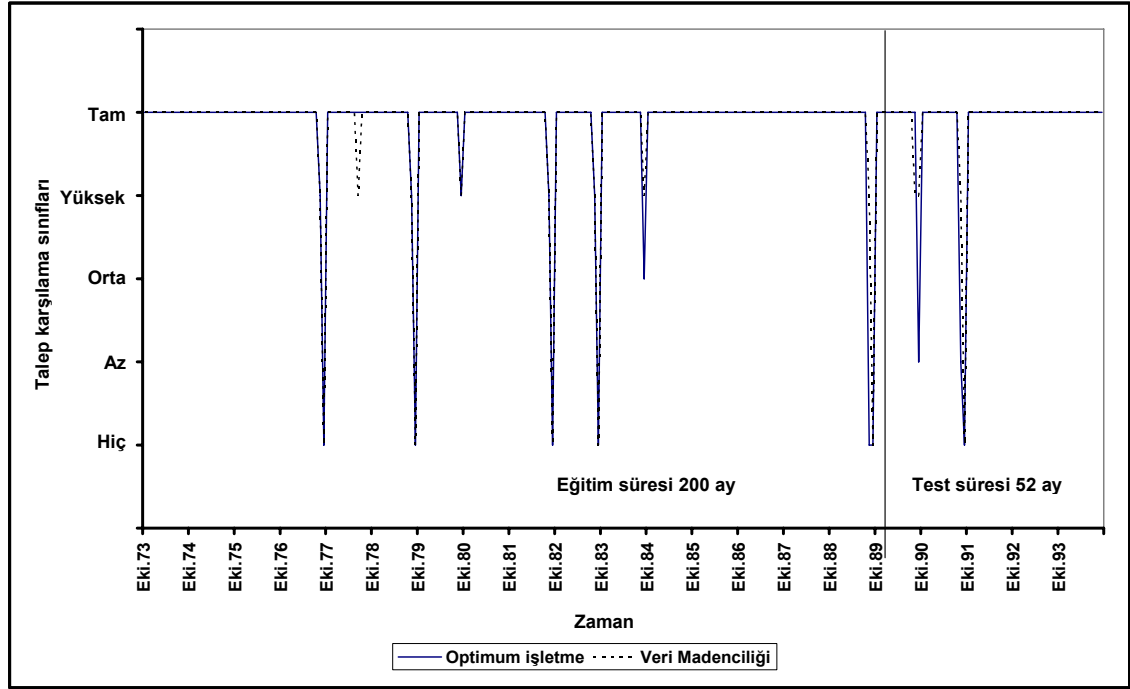
Çizelge 4.21 Test süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 1)

Talebi Karşılama Sınıfları						Modelin Belirlediği Sınıflama
Tam	Yüksek	Orta	Az	Hiç	*Sİ	
44	1					
	2					
				1		
					4	

*Sİ: Sulama suyuna ihtiyaç yoktur

Çizelge 4.21’ den de görüldüğü gibi model bir durumu yüksek sınıflama yerine tam ve 2 durumu da yüksek sınıfı yerine yanlış olarak orta sınıfa dahil edilmiştir. Diğer durumlar doğru tahmin edilmiştir.

Şekil 4.28’ de bu aşamaya ait sonuçların grafiksel görüntüsü ve veri madenciliğinden elde edilen kurallar değerlendirilmiştir. Şekil 4.28 den de görüleceği gibi optimizasyon modeli sonuçlarına dayalı optimum işletme kuralları ile veri madenciliği modelinden elde edilen kurallar uyum sağlamaktadır.



Şekil 4.28 Rezervuar inşası öncesine ait 21 yıllık optimum işletmeye göre veri madenciliğinin değerlendirilmesi

4.5.2 Rezervuarın inşasından önceki 21 yıllık (Ekim 1973-Eylül 1994) Monte Carlo simülasyonundan türetilmiş akımlara göre elde edilen sonuçlar

İkinci veri setinde, Monte Carlo yönteminden türetilmiş akım verilerine göre çalıştırılmış doğrusal programlama modelinin sonuçları See5 programına girdi olarak verilmiş ve işletme kuralları elde edilmiştir. Bu kısımda da bir öncesi gibi 200 durum eğitim için ve 52 durum test için kullanılmıştır. Bu kısımda 8 özellik dikkate alınsa da See5 yazılımı bunların 3'ünü elemiş ve sadece 5 özelliği dikkate almıştır. Bu elemeler her özelliğin önemi ve hesaplanmış entropi esasında yapılmaktadır. See5 yazılımı sınıflama aşamasında; talep, depolanan su miktarı, ard arda gelen 2 ay depolanan su miktarındaki değişim ve yıllık toplam giren akım miktarı özelliklerini önemli özellik olarak ortaya koymuştur.

Kurallar:

1. kural: (143, lift 1.2)

$$DE > 0$$

$$DF1 > -11.48$$

-> sınıf Tam [0.993]

Birinci kuralın açıklaması: *Eğer* rezervuar sisteminde talep miktarı sıfırın üzerinde ve ard arda gelen iki ay arasında depolan su miktarının değişimi 11.48 hm^3 ise talebi karşılama sınıfı tam olacaktır. Diğer bir deyişle talep tamamen karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 99.3 tür. Eğitim aşamasında 143 durum bu kurala uymuştur.

2. kural: (122/3, lift 1.1)

$$DE > 0$$

$$ST > 8.43$$

-> sınıf Tam [0.968]

İkinci kuralın açıklaması: *Eğer* rezervuar sisteminde talep miktarı sıfırın üzerinde ve depolanan su miktarı 8.43 hm^3 'ten çok ise talebi karşılama sınıfı tam olacaktır. Diğer bir deyişle talep tamamen karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 96.8 dir. Eğitim aşamasında 122 durum bu kurala uymuş ve 3 durum uymamıştır.

3. kural: (2, lift 75.0)

$$ST > 4.84$$

$$ST \leq 8.43$$

$$DF1 \leq -11.48$$

-> sınıf Orta [0.750]

Üçüncü kuralın açıklaması: *Eğer* rezervuar sisteminde depolanan su miktarı 4.84 hm^3 'ten büyük, 8.43 hm^3 'ten küçük veya eşit ve ard arda gelen iki ayda depolanan su miktarında değişim 11.48 hm^3 'ten eşit veya küçük ise talebi karşılama sınıfı orta olacaktır. Diğer bir deyişle talep orta düzeyde karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 75.0'tir. Eğitim aşamasında 2 durum bu kurala uymuştur.

4. kural: (8, lift 20.0)

$$ST \leq 4.84$$

$$DF1 \leq -11.48$$

-> sınıf Hiç [0.900]

Dördüncü kuralın açıklaması: *Eğer* rezervuar sisteminde depolanan su miktarı 4.84 hm³'ten az veya küçük ve ard arda gelen iki ayda depolanan su miktarında olan değişim 11.48 hm³'ten küçük veya eşit *ise* talebi karşılama sınıfı hiç olacaktır. Diğer bir deyişle talep karşılanamayacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 90.0'dır. Eğitim aşamasında 8 durum bu kurala uymuştur.

5. kural: (17, lift 11.1)

$$DE \leq 0$$

-> sınıf "Sulama suyuna ihtiyaç yoktur" [0.947]

Beşinci kuralın açıklaması: *Eğer* sulama suyu talebi sıfır *ise* sulama suyuna ihtiyaç yoktur. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 94.7'dir. Eğitim aşamasında 17 durum bu kurala uymuştur. Bu durumlar şubat ayına denk gelmektedir. Şubat ayında sulama suyuna ihtiyaç olmadığı için bu kural ihmal edilebilir.

Bu kısımda toplam 200 durumdan 170 durumu tam sınıfına girdiğinden dolayı modelde varsayılan sınıf, tam sınıf olmaktadır (Çizelge 4.22).

Eğitim verilerinin değerlendirilmesi (200 durum): Burada 5 kural elde edilmiştir. Toplam 200 durum için hata sayısı 3 olarak (% 1.5) hesaplanmıştır. See5 yazılımı daha ayrıntılı değerlendirme amacı ile difüzyon matrisini sunmaktadır. Bu matris tüm eğitilmiş durumlara göre olası yanlış sınıflamayı göstermektedir.

Çizelge 4.22 Eğitim süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 2)

Talebi Karşılama Sınıfları						Modelin Belirlediği Sınıflama
Tam	Yüksek	Orta	Az	Hiç	*Sİ	
170						
1						
		2				
1						
1				8		
					17	*Sİ

*Sİ: Sulama suyuna ihtiyaç yoktur

Çizelge 4.22’den de görüldüğü gibi çapraz hattın dışında olan durumlar (3 durum) yanlış tahmin olan durumlardır. Bu yanlış durumların biri yüksek, biri az ve biri hiç sınıfına aittir.

Test verilerinin değerlendirilmesi (52 durum): Burada 200 eğitim durumu ile elde edilmiş 5 kural 52 durumla test edilmiştir. Test sonucuna göre 52 durumdan 3 durum yanlış tahmin edilmiştir (% 5.8). Test sonuçlarının değerlendirilmesi için difüzyon matrisi çizelge 4.23’te verilmiştir.

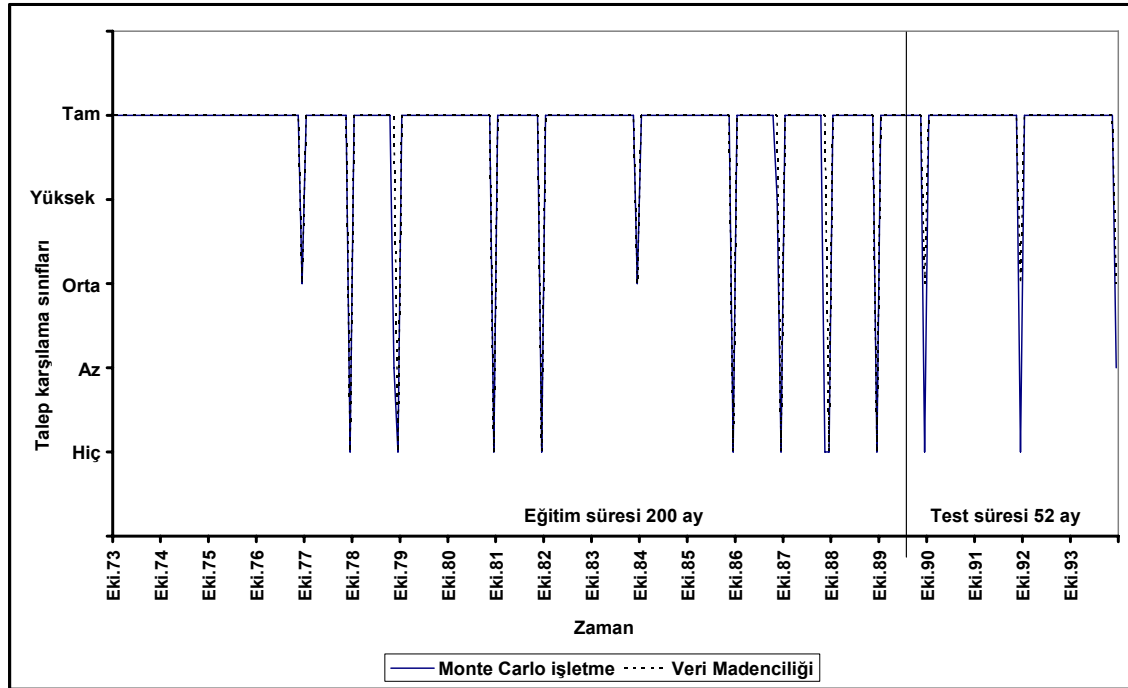
Çizelge 4.23 Test süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 2)

Talebi Karşılama Sınıfları						Modelin Belirlediği Sınıflama
Tam	Yüksek	Orta	Az	Hiç	*Sİ	
45						
		1				
		2				
					4	*Sİ

*Sİ: Sulama suyuna ihtiyaç yoktur

Çizelge 4.23'ten görüldüğü gibi model bir durumu orta sınıf yerine az ve 2 durumu da orta sınıf yerine yanlış olarak hiç sınıfına dahil etmiştir. Diğer durumlar doğru sınıflandırılmıştır.

Şekil 4.29'da rezervuar inşası öncesindeki 21 yıllık döneme ait Monte Carlo simülasyonu ile türetilen verilerin optimize edilmesi ile hesaplanan optimum işletmeyle veri madenciliğine göre elde edilen sonuçlar grafiksel olarak verilmiş ve çıkarılan kurallar değerlendirilmiştir. Şekil 4.29' dan da görüleceği gibi Monte Carlo yönteminden türetilmiş verilere göre optimizasyon modelinden hesaplanan optimum kurallarla veri madenciliği modelinden elde edilmiş kurallar yüksek düzeyde uyum sağlamaktadır.



Şekil 4.29 Rezervuar inşası öncesine ait 21 yıllık Monte Carlo optimum işletmeye göre veri madenciliğinin değerlendirilmesi

Birinci ve ikinci veri setine (Rezervuar inşası öncesi) ait durumların veri madenciliğine göre sınıflar arası gösterdiği dağılım özet olarak çizelge 4.24 de verilmiştir.

Çizelge 4.24 Rezervuar inşası öncesi (Ekim 1973-Eylül 1994) durumların gösterdikleri dağılım

Özellik sayısı	Veri seti 1'e uygulanan veri madenciliği			Veri seti 1'e ilişkin sonuçlar	Veri seti 2'ye uygulanan veri madenciliği			Veri seti 2'ye ilişkin sonuçlar
	Eğitim	Test	Toplam		Eğitim	Test	Toplam	
Tam	170	44	214	216	173	45	218	215
Yüksek	8	3	11	5	0	3	3	1
Orta	0	0	0	1	2	0	2	2
Az	0	0	0	2	0	0	0	2
Hiç	5	1	6	7	8	0	8	11
Sulamaya ihtiyaç yoktur	17	4	21	21	17	4	21	21
Toplam	200	52	252	252	200	52	252	252

Çizelge 4.24'den görüldüğü gibi rezervuarın inşasından önce 21 yıllık akım verilerine göre optimizasyon modelinden hesaplanmış optimum işletmeye dayalı elde edilen kurallarla optimizasyon modelinden bırakılacak optimum su miktarlarının talebi karşılama oranına göre sınıflandırılmış sınıflar arasında çok yüksek düzeyde uyum sağlanmıştır. Öyle ki her iki yöntemin karşılaştırılmasında toplam 252 durum (ay) tam sınıfı sayısında 2, yüksek sınıf sayısında 6, orta sınıf sayısında 1, az sınıf sayısında 2 ve hiç sınıf sayısında sadece 1 durumda fark vardır. Aynı mantıkla Monte Carlo simülasyonu yönteminden türetilmiş akımlara göre optimizasyon modeli yardımı ile hesaplanmış optimum işletme parametrelerinden elde edilmiş kurallarla bırakılacak optimum su miktarlarının talebi karşılama oranına göre oluşturulan sınıflar arasında da yüksek düzeyde uyum sağlanmıştır. Öyle ki her iki yöntemin karşılaştırılmasında toplam 252 durum (ay) tam sınıfı sayısında 3, yüksek sınıf sayısında 2, orta sınıf sayısında 2 ve hiç sınıf sayısında sadece 3 durumda fark vardır. Bu bağlamda rezervuar inşası öncesinde veri madenciliği yönteminden elde edilmiş işletme kurallarının ister optimizasyon, ister Monte Carlo simülasyona göre hesaplanmış optimum işletme verileri ile desteklendiği görülmektedir.

4.5.3 10 yıllık (Ekim 1997-Eylül 2007) optimum işletme süresi verilerine göre elde edilen sonuçlar

Üçüncü veri setinde 10 yıllık (Ekim 1997-Eylül 2007) işletme süresine ait akım verileri yardımı ile doğrusal program çalıştırılmış ve bu 10 yıla karşılık optimum bırakılan su miktarları hesaplanmıştır. Bu bırakılması gereken optimum su miktarı veri madenciliği

modelinin girdisi olarak ele alınmış ve işletme kuralları belirlenmiştir. Bu kısımda elde edilen sonuçlar ve kuralların hataları oldukça düşüktür. Ancak veri sayısının azlığı nedeni ile elde edilen sonuçların tüm kurak ve nemli periyotlarda uygulanması sağlıklı olmaz. Burada elde edilen kurallar bir anlamda 10 yıllık işletme süresince optimum kurallar olmaktadır. Burada eğitim sırasında 96 durum dikkate alınmıştır.

Kurallar:

1. kural: (81, lift 1.1)

$$I > 1.81$$

-> sınıf Tam [0.988]

Birinci optimum kuralın açıklaması: *Eğer* rezervuar sistemine aylık giren akım miktarı 1.81 hm^3 'ten fazla ise talebin karşılanma sınıfı tam olacaktır. Diğer bir deyişle talep tamamen karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 98.8'dir. Eğitim aşamasında 81 durum bu kurala uymuştur.

2. kural: (9, lift 9.7)

$$ST \leq 5.63$$

$$I \leq 1.81$$

-> sınıf Hiç [0.909]

İkinci optimum kuralın açıklaması: *Eğer* rezervuar sisteminde depolanan su miktarı 5.63 hm^3 'e eşit veya küçük ve aylık giren akım miktarı 1.81 hm^3 'ten az veya eşit ise talebi karşılama sınıfı hiç olacaktır. Diğer bir deyişle talep hiç karşılanamayacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 90.9'dur. Eğitim aşamasında 9 durum bu kurala uymuştur.

3. kural: (31, lift 1.1)

$$ST > 5.63$$

$$\text{Toplam } I \leq 77.72$$

-> sınıf Tam [0.970]

Üçüncü optimum kuralın açıklaması: *Eğer* rezervuar sisteminde depolanan su miktarı 5.63 hm^3 'ten büyük, yıllık toplam giren akım miktarı 77.72 hm^3 'e eşit veya küçük *ise* talebi karşılama sınıf tam olacaktır. Diğer bir deyişle talep tamamen karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 97.0'dır. Eğitim aşamasında 31 durum bu kurala uymuştur.

4. kural: (3/1, lift 28.8)

$$ST > 5.63$$

$$I \leq 1.81$$

$$\text{Toplam } I > 77.72$$

$$\rightarrow \text{sınıf Az } [0.600]$$

Dördüncü optimum kural: *Eğer* rezervuarda depolanan su miktarı 5.63 hm^3 'ten büyük, aylık giren akım miktarı 1.81 hm^3 'e eşit veya küçük ve yıllık toplam giren akım miktarı 77.72 hm^3 'ten büyük *ise* talebin karşılama sınıfı az olacaktır. Diğer bir deyişle talebin az miktarı karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 60.0'dır. Eğitim aşamasında 3 durum bu kurala uymuş, 1 durum ise uymamıştır.

Burada 96 durumdan 84 durum tam sınıfta tahmin edildiğinden dolayı model tam sınıfını varsayılan sınıf olarak almıştır (Çizelge 4.25).

Eğitim verilerinin değerlendirilmesi (96 durum): Burada 4 kural elde edilmiştir. Toplam 96 durum için hata sayısı 1 (% 1) hesaplanmıştır.

Çizelge 4.25 Eğitim süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 3)

Talebi Karşılama Sınıfları					Modelin Belirlediği Sınıflama
Tam	Yüksek	Orta	Az	Hiç	
84			1		
			2		
				9	

Çizelge 4.25'ten görüldüğü gibi çapraz hattı dışında olan durumlar (1 durum) yanlış tahmin olan durumlardır.

Kuralların uygulaması açısından bakılırsa sadece birinci kuralda hata sayısı 11 (% 11.5), 1-2 kurallarında hata sayısı 2 (% 2.1) ve 1-3 kurallarında hata sayısı 2 (% 2.1) olmaktadır. Bu nedenle işletme açısından sadece ilk 2 veya ilk 3 kural uygulanırsa hata miktarı diğer kurallara göre daha az (% 2.1) olabilir.

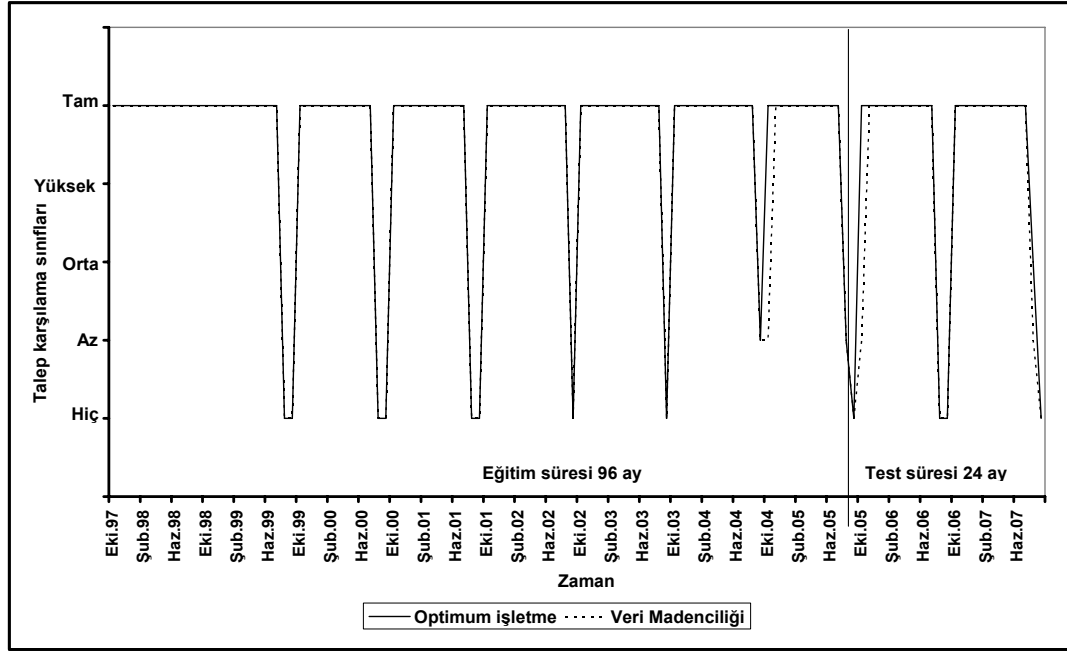
Test verilerinin değerlendirilmesi (24 durum): Burada 96 eğitim durumu ile elde edilmiş 4 kural 24 durumla test edilmiştir. Test sonucuna göre 24 durumdan 3 durum yanlış tahmin edilmiştir (% 12.5). Çizelge 4.26 de test sonuçlarının değerlendirilmesi için difüzyon matrisi verilmiştir.

Çizelge 4.26 Test süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 3)

Talebi Karşılama Sınıfları					Modelin Belirlediği Sınıflama
Tam	Yüksek	Orta	Az	Hiç	
19			1		
			1		
			1	2	

Çizelge 4.26'den de görüldüğü gibi test sonucu model 24 durumdan sadece 21 durum doğru tahmin yapmış ve diğer 3 durumu yanlış sınıflara dahil edilmiştir.

Şekil 4.30' da bu bölüme ait sonuçların grafiksel görüntüsü ve veri madenciliğinden elde edilen kurallar değerlendirilmiştir. Şekil 4.30' dan da görüleceği gibi, optimizasyon modeli sonuçlarından elde edilmiş işletme kuralları veri madenciliği yönteminden elde edilen kurallarla yüksek düzeyde uyum sağlamaktadır. Bu uyum sağlamalar veri madenciliği yönteminin anlaşılır olması ile birlikte kullanışlı olmasını ispatlamaktadır.



Şekil 4.30 Rezervuar işletmesi süresine ait optimum işletmeye göre veri madenciliğinin değerlendirilmesi

4.5.4 10 yıllık (Ekim 1997-Eylül 2007) işletme süresi verilerine göre elde edilen sonuçlar

Dördüncü kısımda Eleviyan rezervuarın işletmeye açılışından sonraki 10 yıllık (Ekim 1997-Eylül 2007) gerçek ölçülmüş işletme verileri, veri madenciliği modelinin girdisi olarak ele alınmış ve işletme kuralları belirlenmiştir. Bu kısımda elde edilen sonuçlar ve kuralların hataları nispeten yüksektir. Ancak veri sayısının azlığı nedeni ile elde edilen sonuçların tüm kurak ve nemli periyotlarda uygulanması sağlıklı olamaz. Burada da eğitim sırasında 96 durum ve test sırasında 24 durum dikkate alınmıştır. Elde edilen 9 kural aşağıda verilmiş ve incelenmiştir. Modelin sonuçlarına göre dikkate alınan özelliklerin yarısı elenmiştir ve sadece; Akım, depolanan su miktarı, ay ve talep özellikleri sırası ile kuralların çıkarılmasında önemli etmen olarak kullanılmıştır.

Kurallar:

1. kural: (73/28, lift 1.2)

$ST \leq 34.53$

-> Sınıf Hiç [0.613]

Birinci kuralın açıklanması: *Eğer* rezervuarda depolanan su miktarı 34.53 hm^3 'ten küçük veya eşit *ise* talebin karşılanma sınıfı hiç olacaktır. Diğer bir deyişle talep hiç karşılanmayacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 61.3'tür. Eğitim aşamasında 73 durum bu kurala uymuş ve 28 durum ise uymamıştır.

2. kural: 2: (17/7, lift 2.1)

$$ST > 39.97$$

-> Sınıf Tam [0.579]

İkinci kuralın açıklanması: *Eğer* rezervuarda depolanan su miktarı 39.97 hm^3 'ten büyük *ise* talebin karşılanma sınıfı tam olacaktır. Diğer bir deyişle talebin tümü karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 57.9'dur. Eğitim aşamasında 17 durum bu kurala uymuş ve 7 durum ise uymamıştır.

3. kural: (5/1, lift 2.5)

$$Ay = \text{Kasım}$$

$$ST > 11.63$$

-> Sınıf Tam [0.714]

Üçüncü kuralın açıklanması: *Eğer* Kasım ayında rezervuarda depolanan su miktarı 11.63 hm^3 'ten büyük *ise* talebin karşılanma sınıfı tam olacaktır. Diğer bir deyişle talebin tümü karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 71.4'dür. Eğitim aşamasında 5 durum bu kurala uymuş ve 1 durum ise uymamıştır.

4. kural: (8, lift 3.2)

$$Ay = \text{Mayıs}$$

-> Sınıf Tam [0.900]

Dördüncü kuralın açıklanması: *Eğer* işletme Mayıs ayında *ise* diğer özelliklere bakmadan talebin karşılanma sınıfı tam olacaktır. Diğer bir deyişle Mayıs'ta talebin tümü karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 90.0'dır. Eğitim aşamasında 8 durum bu kurala uymuştur.

5. kural: (5/1, lift 2.5)

Ay = Mart

I > 7.94

-> sınıf Tam [0.714]

Beşinci kuralın açıklaması: *Eğer* Mart ayında rezervuara giren su miktarı 7.94 hm³'ten büyük *ise* talebin karşılanma sınıfı tam olacaktır. Diğer bir deyişle talebin tümü karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 71.4'dür. Eğitim aşamasında 5 durum bu kurala uymuş ve 1 durum ise uymamıştır.

6. kural: (3, lift 2.8)

Ay = Şubat

ST > 21.45

-> Sınıf Tam [0.800]

Altıncı kuralın açıklaması: *Eğer* Şubat ayında rezervuarda depolanan su miktarı 21.45 hm³'ten büyük *ise* talebin karşılanma sınıfı tam olacaktır. Diğer bir deyişle talebin tümü karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 80.0'dir. Altıncı kurala göre eğitim sırasında 3 durum bu kurala uymuştur.

Eleviyan baraj, işletmeye açıldıktan sonra rezervuarda bırakılmış su miktarları (sulama ve içme kullanma amaçlı) arasında ayırım yapılmadan birlikte kaydedilmiştir. Dolayısı ile Şubat ayında sulama suyuna ihtiyaç olmasa da içme ve kullanma suyuna ihtiyaç olduğu için bu ayda sistemde talep mevcuttur ve altıncı kural ve talebi dikkate almıştır.

7. kural: (3, lift 7.7)

Ay = Ocak

ST > 22.35

-> Sınıf Az [0.800]

Yedinci kuralın açıklaması: *Eğer* Ocak ayında rezervuarda depolanan su miktarı 22.35 hm³'ten büyük *ise* talebin karşılanma sınıfı az olacaktır. Diğer bir deyişle talebin az

miktarı karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 80.0'dir. Eğitim aşamasında 3 durum bu kurala uymuştur.

8. kural: (4/1, lift 2.4)

Ay = Nisan

ST > 34.53

-> Sınıf Tam [0.667]

Sekizinci kuralın açıklaması: *Eğer* Nisan ayında rezervuarda depolanan su miktarı 34.53 hm³'ten büyük *ise* talebin karşılanma sınıfı tam olacaktır. Diğer bir deyişle talebin tümü karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 66.7'dir. Eğitim aşamasında 4 durum bu kurala uymuş ve 1 durum ise uymamıştır.

9. kural: (2, lift 18.0)

Ay = Haziran

ST > 39.97

ST <= 51.29

-> Sınıf Yüksek [0.750]

Dokuzuncu kuralın açıklaması: *Eğer* Haziran ayında rezervuarda depolanan su miktarı 39.97 hm³'ten büyük ve 51.29 hm³'ten küçük veya eşit *ise* talebin karşılanma sınıfı yüksek olacaktır. Diğer bir deyişle talebin büyük bir kısmı karşılanacaktır. Bu kuralın Laplace doğruluk oranı % 75.0'tir. Eğitim aşamasında 2 durum bu kurala uymuştur.

Bu kısımda 96 durumdan 44 durum hiç sınıfında tahmin edildiğinden dolayı model hiç sınıfını varsayılan sınıf olarak almıştır (Çizelge 4.27).

Eğitim verilerinin değerlendirilmesi (96 durum): Burada 9 kural elde edilmiştir. Toplam 96 durum için hata sayısı 21 (% 21.9) hesaplanmıştır.

Çizelge 4.27 Eğitim süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 4)

Talebi Karşılama Sınıfları					Modelin Belirlediği Sınıflama
Tam	Yüksek	Orta	Az	Hiç	
26				1	
	2			2	
1				6	
2			3	5	
4				44	

Çizelge 4.27’ den görüldüğü gibi çapraz hattı dışında olan durumlar (21 durum) yanlış tahmin olan durumlardır. Kuralların uygulanması açısından bakılırsa 1-2 kurallarında hata sayısı 41 (% 42.7), 1-4 kurallarda hata sayısı 34 (% 35.4), 1-5 kurallarda hata sayısı 31 (% 32.3) ve 1-7 kurallarda hata sayısı 25 (% 26.0) olmaktadır. Bu nedenle işletme açısından eğer 7 kuralın tümü uygulanırsa hata payı % 26 olacaktır.

Test verilerinin değerlendirilmesi (24 durum): Burada 96 eğitim durumu ile elde edilmiş 9 kural 24 durumla test edilmiştir. Test sonucuna göre 24 durumdan 13 durum yanlış tahmin edilmiştir (% 54.2). Çizelge 4.28’ de test sonuçlarının değerlendirilmesi için difüzyon matrisi verilmiştir.

Çizelge 4.28 Test süresine ait difüzyon matrisi (veri seti 4)

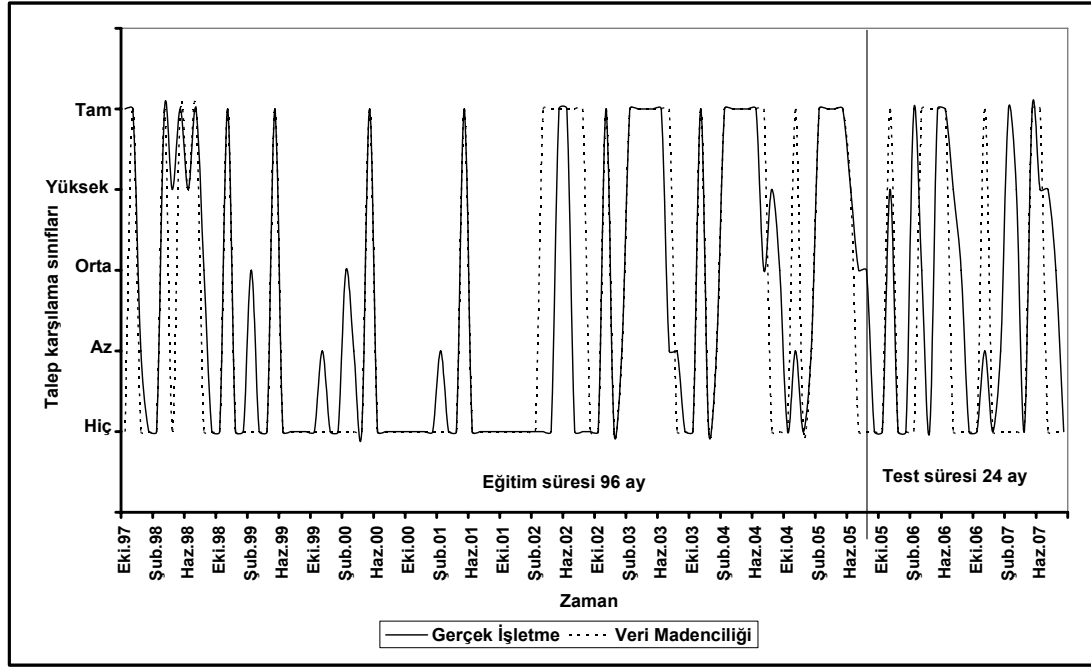
Talebi Karşılama Sınıfları					Modelin Belirlediği Sınıflama
Tam	Yüksek	Orta	Az	Hiç	
3				2	
2				3	
1				2	
1				1	
1				8	

Çizelge 4.28’ den görüldüğü gibi test sonucu model 24 durumdan sadece 11 durum doğru tahmin yapmış ve diğer 13 durumu yanlış sınıflara dahil edilmiştir. Test sonuçlarına göre 1-2, 1-4, 1-5 ve 1-7 kurallar ister tek başına ve ister birlikte kullanılsa

da yanlış durum sayısı 13 ve hata payı ise % 54.2 olmaktadır. Test bölümünde elde edilen kuralların hata payının yüksek olması nedeni ile bu kuralların pratik açıdan uygulanması sakıncalı olabilir. Ancak gelecek yıllarda işletmeye ait veri sayısının artması ile bu kurallar yenilenip tekrar değerlendirilebilir. Veri sayısının artması ile eğer test sürecindeki hata payı aynen eğitim sürecinde olduğu gibi düşük olursa kuralların pratikte uygulanması önerilir.

Hata payının artmasında yanlış sınıflama yapmanın etkisi çok fazladır. Çalışmada kullanılan 4. veri setinde bazı durumlar yanlış sınıflandırılmıştır. See5 yazılımında seçmeli maliyet dosyası oluşturularak, ikinci bir alternatif işletme kuralı çıkarılmaya çalışılmıştır. Maliyet dosyasında hiç sınıfını hiç (doğru) tahmin yapma durumunda See5 programı maliyeti 1 olarak varsaymaktadır. Dolayısı ile diğer durumlar da orantılı olarak; az sınıfını hiç sınıfı olarak tahmin etme maliyeti 2, orta sınıfını hiç sınıfı olarak tahmin etme maliyeti 3, yüksek sınıfını hiç sınıfı olarak tahmin etme maliyeti 4 ve tam sınıfını hiç sınıfı olarak tahmin etme maliyeti 5 olarak kabul edilmiş ve yazılım tekrar çalıştırıldıktan sonra sonuçlar her iki alternatif için de değerlendirilmiştir. İkinci alternatifte kural sayısı 13'e yükselmiş, eğitim aşamasında hata payı % 21.9 ve maliyet 0.4 olarak hesaplanmıştır. İkinci alternatifte test aşamasında ise hata payı % 50.0 ve maliyet 1.08 olarak hesaplanmıştır. Her iki alternatifin sonuçlarına göre eğitim aşamasında hata değişmemiş fakat test aşamasında hata payında % 4 oranında düşüş meydana gelmiştir. Hata payındaki bu azalma ihmal edilebilecek kadar azdır. Öte yandan birinci alternatifte 9 olan işletme kural sayısı, ikinci alternatifte 13'e yükselmiştir. Hata payında önemli bir azalma olmadan kural sayısındaki artış, işletme açısından bir dezavantaj olarak değerlendirilebilir. Genel olarak işletme açısından kuralların az olması bir avantajdır. Bu nedenle birinci alternatifte elde edilen sonuçlar uygulama açısından daha uygun görülmektedir.

Şekil 4.31' de bu bölüme ait sonuçların grafiksel görüntüsü ve veri madenciliğinden elde edilen kurallar değerlendirilmiştir.



Şekil 4.31 Rezervuar işletmesi süresine ait işletme verilerine göre veri madenciliğinin değerlendirilmesi

Şekil 4.31' den görüldüğü gibi gerçek işletme (10 yıllık işletme süresince bırakılmış su miktarlarının talebi karşılama oranına göre olduğu sınıflama) ile veri madenciliği arasında çakışmayan noktaların sayısı diğer aşamalarda olan karşılaştırmalara göre daha fazladır. Bu uyumsuzluğun nedenleri arasında; rezervuarın işletmeye açıldıktan sonraki dönemin kısa olması ve hidrolojik rejimdeki değişimler (şekil 4.7' den de görüldüğü gibi eğitim süresi ile test süresi için ayrılan akımlar arasında büyük miktarda değişim söz konusudur. Öyle ki eğitim periyodu nispeten kurak ve test periyodu nispeten yağışlı döneme denk gelmiştir), işletme ekipmanının doğru bir işletme sergileyememesi, rezervuarın işletmeye açılışından sonra yavaş yavaş yeni arazilerin sulamaya açılması ve bunların kaydedilmemesi sayılabilir. Doğru bir analiz yapmak için veri sayısının çok ve işletme süresinin uzun olması ile birlikte eğitim ve test dönemlerinde kullanılan verilerin aynı akarsu rejimine tabi tutulması veya uzun süreli bir dönem için her türlü kurak ve nemli periyotların olması ve rezervuar-sulama sisteminde fiziksel koşulların sabit kalması gerekmektedir. Veri madenciliği yöntemleri esasen veriye dayalı modellerdir. Verinin fazlalığı ile birlikte güvenilir olması modelin sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir.

Üçüncü ve dördüncü bölüme (Rezervuar işletmeye açıldıktan sonra) ait durumların veri madenciliğine göre sınıflar arası gösterdiği dağılım özet olarak çizelge 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.29 Rezervuar inşası sonrası (Ekim 1997-Eylül 2007) durumların gösterdikleri dağılım

Özellik sayısı	Veri seti 3’e uygulanan veri madenciliği			Veri seti 3’e ilişkin sonuçlar	Veri seti 4’e uygulanan veri madenciliği			Veri seti 4’e ilişkin sonuçlar
	Eğitim	Test	Toplam		Eğitim	Test	Toplam	
Tam	84	19	103	105	33	8	41	32
Yüksek	0	0	0	0	2	0	2	9
Orta	0	0	0	1	0	0	0	10
Az	3	2	5	2	3	0	3	12
Hiç	9	3	12	12	58	16	74	57
Toplam	96	24	120	120	96	24	120	120

Çizelge 4.29’ dan görüldüğü gibi 10 yıllık ölçülmüş işletme süresi verilerine dayalı elde edilen işletme kuralları sonuçları ile aynı yıllarda bırakılmış su miktarlarının talebi karşılama oranı sınıfları arasında fark görülmektedir. Öyleki toplam 120 durum içinde tam sınıfı sayısında 9, yüksek sınıfı sayısında 7, orta sınıfı sayısında 10, az sınıfı sayısında 9 ve hiç sınıfı sayısında 17 ay (durum) fark vardır. Ancak optimizasyon modeli sonuçlarından oluşturulmuş işletme kuralları ile aynı dönem için bırakılması gereken optimum su miktarlarının talebi karşılama oranına göre olan sınıflama arasında bu kez çok az fark görülmekte olup ve yeteri düzeyde uyum sağlanmaktadır. Öyleki toplam 120 durum içinde tam sınıfı sayısında 2, orta sınıfı sayısında 1 ve az sınıfı sayısında 3 durumda fark vardır. Diğer sınıf sayıları tamamen örtüşmektedir. Böylece veri madenciliği yöntemi sonuçlarının optimizasyon modeli sonuçlarına çok yakın bir benzerliği ortaya çıkmıştır. Elde ettiğimiz bu sonuçlar konu ile ilgili önceki çalışmaların sonuçların desteklemektedir (Florian *et al.* 2003, Sudha *et al.* 2006).

Bu çalışmanın eksikliği veri sayısının azlığı ve başka bir değişle barajın işletme süresinin kısa süreli olmasıdır. Bütün bu eksiklikler rağmen veri madenciliği yaklaşımı ve karar ağacından elde edilen sonuçlar diğer klasik yöntemlere göre daha kolay anlaşılır ve işletmeciler açısından daha kullanışlı olduğu açıktır. Ancak akarsuda akım rejimlerindeki değişimlerin olduğu tüm periyotların veri madenciliğinde göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Akımlarda meydana gelen azalmalar sonucu öngörülen su talepleri karşılanamamakta ve işletme açısından büyük sıkıntılar yaşanmaktadır. İran ve Türkiye gibi su sıkıntısı çeken ülkelerde mevcut su kaynaklarının optimum kullanılması gerekmektedir. Nüfusun artışı ile birlikte, yağışlarda meydana gelen azalmalar, yeni barajlar ve su sistemleri yapımında karşılaşılan finansal kaynak kısıtlılığı, mevcut yapıların işletmesinde optimizasyon modellerin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Nitekim rezervuar işletmesi konusunda çoklu optimizasyon tekniklerini içeren birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada optimizasyon modeli sonuçlarına göre rezervuar inşası öncesi akımlar dikkate alındığında talepler karşılanmıştır. Ancak rezervuar inşası sonrası bazı aylarda talepler tam olarak karşılanamamaktadır. Bunun nedenleri arasında; akımlardaki değişimlerden özellikle akımların azalması, işletmenin kurallara uygun yapılamaması ve kayıt dışı arazilerin çiftçiler tarafından sulamaya açılması sayılabilir. Bu durumun ortadan kaldırılması için planlamada yer verilmemiş arazilerin sulamaya açılmaması veya bitki deseninde değişiklik yapılarak daha az su tüketen bitkilerin yetiştirilmesi ya da sulama yönteminde su tasarrufu sağlayan yağmurlama veya damla sulama yöntemlerinin uygulanması yoluna gidilmesi önerilir. Sulama amaçlı rezervuarlardan optimum bir şekilde yararlanmak karar vericilerin önemsedikleri konular içerisinde yer almaktadır. Son yıllarda bilgisayar, veri tabanları ve iletişim teknolojilerinde olan gelişmelerle birlikte rezervuarların günlük veya aylık bazda girdi ve çıktılarını gözlemek ve değişimleri kontrol etmekte de gelişmeler yaşanmaktadır. Bu gelişmeler sonucunda gözlenmiş veri sayısında artışlar oluşmaktadır. İşletme verilerinin veri tabanlarına aktarılması gelişmekte olan veri madenciliği yöntemlerinin rezervuar işletmeciliğinde kullanılmasına zemin oluşturmuştur. Bu çalışmada aylık bazda anlaşılabilir işletme kurallarının elde edilmesinde veri madenciliğinin alt tekniklerinden olan karar ağacının uygun sonuç verebileceği görülmüştür (Çizelge 4.20-4.24 ve Çizelge 4.25-4.29). Çalışmada elde edilen sonuçlara göre veri madenciliğinden çıkarılan işletme kuralları ile optimizasyon modelinden elde edilen kurallar yüksek düzeyde benzeşim göstermiştir (Şekil 4.28-4.30). Fakat veri azlığı nedeniyle hem kurak hem de yağışlı dönemleri içeren mükemmel ve kesin kurallardan söz etmek pek kolay değildir. Veri sayısının artması ve gözlem süresi içinde her türlü hidrolojik rejimin gözlenmesi karar ağaçlarından elde edilen

işletme kurallarının doğruluğunu ve uygulanabilirliğini sağlıklı bir şekilde ortaya koyabilir. Fakat koşulların değişmesi halinde, kullanılan özelliklerin artması ve veri sayısının çok olması ile bazen elde edilen karar ağağları çok büyük olmakta ve buna bağlı olarak kural sayısı da artmaktadır. Bu artışlar karar ağacı yonteminin bir dezavantajı gibi değerlendirilse de uygulanan çeşitli ön ve son budama teknikleri ile karar ağacını küçölterek daha uygun bir biçime getirmek mümkündür. Bu yontemin bir başka rezervuarda özellikle daha uzun süreli, güvenilir ve yeterli işletme parametrelerinin belirlendiği şartlarda uygulanması önerilir.

Bu çalışmada klasik optimizasyon teknikleri ile birlikte veri madenciliği teknikleri arasında yer alan karar ağacı ve Quinlan (1993) tarafından geliştirilen C5.0 algoritması yardımı ile Eleviyan sulama amaçlı rezervuarda çeşitli veri setlerine göre işletme kuralları “eğer-ise” biçiminde belirlenmiştir. Eğer-ise biçiminde oluşturulan kurallar sonucu rezervuarın işletme politikasında esneklik ve kolaylık sağlanmış olur (Sudha *et al.* 2006). Optimizasyon modelleri rezervuardan optimum çekilmesi gereken su miktarını kesin bir değer olarak belirtmesine rağmen, karar ağağlarından elde edilen kurallar olası bir doğruluk oranında rezervuardan çekilmesi gereken su miktarının talebi karşılama sınıfını hidrometeorolojik koşullar ve rezervuar işletilmesindeki özelliklere bağlı olarak belirli değerler (bant) arasında olmasını önermektedir. Eğer-ise biçimindeki kurallar katı olmayıp, bulanıklılığı kendi içinde barındırmaktadır. Dolayısı ile karar ağağlarından elde edilen kurallar bu bulanıklılıktan yararlanarak etkin işletmeyi sağlamış olur. Esası entropiye ve bir anlamda olasılığa dayanan karar ağağları uygulanmasının pratikte daha sağlıklı sonuç verebileceği söylenebilir. Ancak stokastik bir yapısı olan akarsu akımlarından optimizasyon modelleri ile hesaplanan bırakılması gereken su miktarlarının kesin olarak belirlenmesi her zaman bir risk taşırmaktadır. Aynı zamanda karar ağacından elde edilen kuralların daha anlaşılır olmasından dolayı uzmanlığı gerektirmeyen bir rezervuar işletmeciliği uygulanabilir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre kullanılan yontemlerin değerlendirilmesi neticesinde veri madenciliğinden elde edilen işletme kuralları optimizasyon tekniklerinden hesaplanan sonuçları desteklemektedir. Bu nedenle işletme açısından

mühendisler için hem optimizasyon hem de veri madenciliğinin birlikte uygulanması durumunda daha başarılı bir işletmecilik gerçekleştirilebilir.

Optimizasyon sonuçlarına göre hesaplanmış bırakılması gereken optimum su miktarı ile veri madenciliğinden elde edilen farklı koşullar için belirli değerler arasında sınırlandırılmış işletme kuralları birlikte rezervuar işletmeciliğinde dikkate alındığında; 1) her dönem için bırakılan su miktarı döneme ait koşullarda optimum olabilir, 2) talep edilen sulama suyu miktarının karşılanma oranı koşullara ait uygun kurallardaki sınırlamalara bağlı olarak belirlenebilir. Bu durum işletmenin gelecekteki işletme politikalarının belirlenmesi açısından önemlidir.

Çalışma sonuçlarına göre hem Eleviyan rezervuarının inşası öncesi değerlendirmeler hem de rezervuarın işletmeye açılmasından sonraki değerlendirmelere göre talep edilen sulama suyunun büyük oranda karşılandığı görülmektedir. Bu nedenle Eleviyan rezervuarında planlama çalışmalarının önemli oranda doğru yapıldığı ve başarılı olduğu kanısına varılmıştır. Planlama aşamasında belirlenen bitki deseninin sulama suyu talebinin belirlenmesinde uygun olması nedeni ile işletme koşullarının değişmediği sürece bitki deseninde değişikliğin yapılmasına gerek görülmemiştir. Ancak çok uzun süreli kurak dönemlerin meydana gelmesi durumunda sulama suyu talepleri tam olarak karşılanamayacağı için gelecekteki işletme politikasını belirlemek açısından bitki deseninde de değişiklikler yapılabilir.

Rezervuar işletme süresinin artması ile ölçülecek verilerin modele dahil edilip modelin tekrar çalıştırılması sonucunda karar ağacı modelinden önceden elde edilmiş kurallar yenilenebilir. Çalışma sonucu hem rezervuar inşası öncesine ait veriler için hem de rezervuar işletmeye açıldıktan sonraki döneme ait verilerle farklı işletme kuralları eğerise biçiminde çıkarılmış ve test sonuçlarına göre kuralların başarılı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada işletme süresinin azlığı nedeni ile rezervuar inşası öncesi akımlar dikkate alınarak, hem rezervuar inşa edilmiş varsayımı altında karşılaşılabilen olası işletme politikası değerlendirilmiş hem de daha uzun süreli bir veri ile karar ağacı modelinin kurulmasına ve test edilmesine olanak sağlanmıştır. Çalışmada öncekilerden farklı olarak rezervuarın inşası öncesi ve sonrası ölçülmüş akımlarla birlikte Monte Carlo

simülasyonu yöntemi ile türetilmiş verilere göre hesaplanan bırakılması gereken optimum su miktarları dikkate alınarak farklı bir süreç işletilmiştir. Bu işletilen süreç sonucunda projenin planlama aşamasında kabul edilen işletme politikası değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre Eleviyan rezervuarında planlama çalışmalarının önemli ölçüde uygun yapıldığını söylemek mümkündür.

Çeşitli stokastik simülasyon modelleri ile akarsuda meydana gelebilecek akımların tahmin edilmesi durumunda karar ağaçlarından elde edilen kurallardaki sınırlandırılmış değerler rezervuar işletme sisteminde tekrar kullanılarak geleceğe ilişkin rezervuar işletme kuralları da belirlenebilir. Çalışmadaki işletme koşulları ve veri yapısındaki farklıklar sonucu elde edilen kurallar birbirinden farklı olsa da, sonuçlar (Çizelge 4.24 - 4.29), Florian *et al.* (2003) tarafından yürütülen benzeri çalışmalarda olduğu gibi veri madenciliği tekniklerinden karar ağacı yönteminin rezervuar işletmeciliğinde başarılı bir uygulama olduğunu vurgulamaktadır.

Bu çalışmada optimizasyon tekniklerinden sadece doğrusal programlama sonuçlarına göre karar ağaçları oluşturulmuş ve işletme kuralları çıkarılmıştır. Karar ağaçları yönteminin geçerliliğini kontrol etmek için diğer optimizasyon modellerinin de (örneğin; doğrusal olmayan programlama, dinamik programlama, genetik algoritmalar, tabu search vb) kullanılması ve sonuçların değerlendirilmesi önerilir. Uzun süreli veri tabanına sahip barajların çalışma alanı olarak seçilmesi halinde karar ağaçlarının daha sağlıklı sonuç vereceği beklendiğinden dolayı gelecekte uzun süreli işletme verileri bulunan bir rezervuarda veri madenciliği tekniklerinin uygulanması önerilir.

KAYNAKLAR

- Abbott, M. B. 1991. Hydroinformatics. Avebury Technical, Aldershot, UK.
- Ahmed, S. and Simonovic, S.P. 2000. System dynamics modeling of reservoir operations for flood management. Journal of computing in civil engineering, 14 (3); 190–198.
- Akbulut, U. 2003. Çok amaçlı baraj işletme çalışmaları ve Ceyhan havzasının HEC–5 simülasyon programı ile modellenmesi. Yüksek Lisan Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Gazi Üniversitesi. Ankara.
- Aküzüm, T., Çakmak, B. ve Benli, B. 1999. Yirmi birinci yüzyılda dünyada su sorunu. 7. Kültürteknik kongresi, Nevşehir. 8–16. Türkiye.
- Aküzüm, T. ve Öztürk, F. 1996. Topraksu yapıları. Genişletilmiş II. Baskı, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınevi. 1448. Ders Kitabı. Ankara.
- Anonymous 2004. SYSTAT Software, Inc. <http://www.systat.com/>.
- Anonymous 2007. Hydrological report of Eleviyan reservoir. Ab and Kahk Engineers group. East Azerbaijan, Iran.
- Anonymous 2008. See5: An Informal Tutorial. www.rulequest.com/See5-info.html. 24.
- Baratti, R., Cannas, B., Fanni, A., Pintus, M., Sechi, G. M. and Toreno. 2003. River flow forecast for reservoir management through neural networks. Journal of Neurocomputing, 55 (13); 421-437.
- Bayazit, M. and Bulu, A. 1991. Generalized probability distribution of reservoir capacity. Journal of Hydrology, 126 (3-4); 195–205.
- Bayazit, M. and Onoz, B. 2000. Conditional distribution of ideal reservoir storage variables. Journal of hydrologic engineering, 5 (1); 52–58.
- Belaineh, G., Peralta, R. C. and Hughes, T. C. 1999. Simulation/Optimization modeling for water resources management. Journal of Water Resources Planning and Management, 125 (3); 154–161.
- Bennett, A. J. 2000. Environmental consequences of increasing production: some current perspectives. Journal of Agriculture Ecosystem and Environment, 82; 89–95.
- Bhattacharya, B., Price, R. K. and Solomantie, D. P. 2004. A data mining approach to modeling sediment transport. 6th International Conference on Hydro informatics. World Scientific Publishing Company. ISBN 981–238–787–0.

- Bircan, H., Karagöz, Y. ve Kasapoğlu, Y. 2003. Ki-kare ve kolmogorov smirnov uygunluk testlerinin simülasyon ile elde edilen veriler üzerinde karşılaştırılması. Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 4 (1); 69-80.
- Bouchart, F. and Goulter, C. 1998. Is rational decision making appropriate for managment of irrigation reservoirs? Journal of Water Resources Planning and Management, 124 (6); 301–309.
- Chandramouli, V. and Raman, H. 2001. Multi reservoir modeling with dynamic programming and neural Networks. Journal of Water Resources Planning and Management, 127 (2); 89–98.
- Coles, S., Pericchi, L. R. and Sisson, S. 2003. A fully probabilistic approach to extreme rainfall modeling, Journal of Hydrology. 273 (1-4); 35–50.
- Consoli, S., Matarazzo, B. and Pappalardo, N. 2008. Operating rules of an irrigation purposes reservoir using multi-objective optimization. Journal of Water Resources Management, 22 (5); 551–564.
- Dubrovin, T., Jolma, A. and Turunen, E. 2002. Fuzzy model for real-time reservoir operation. Journal of water resources planning and management, 128 (1); 66-73.
- Duranyildiz, İ., Bayazit, M., Önöz, B., Avcı, İ. and Oğuz, B. 2000. optimum operation management of the Istanbul water supply system. Turkish journal of engineering and environmental sciences, 24 (4); 247–254.
- Duranyildiz, İ., Önöz, B. and Bayazit, M. 1999. A chance-constrained LP model for short term reservoir operation optimization. Turkish journal of engineering and environmental sciences, 23 (3); 181–186.
- Florian, T. B., Dragan, A. S. and Godfrey, A. W. 2003. Water reservoir control with data mining. Journal of water resources planning and management, 129 (1); 26–34.
- Hajilal, M.S., Rao, N.H. and Sarma, P. B. S. 1998. Real time operation of reservoir based canal irrigation system. Journal of agriculture water management., 38 (2); 103-122.
- Han, J. and Kamber, M. 2006. Data mining: concepts and techniques. Morgan Kaufmann publishers. 770.

- Hançerlioğulları, A. 2006. Monte Carlo simülasyon metodu ve MCNP kod sistemi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 14 (2); 545–556.
- Hickey, J. T., Bond, M. V., Patton, T. K., Richardson, K. A. and Pugner, P. E. 2003. Reservoir simulations of synthetic rain floods for the sacramento and san joaquin river basins. *Journal of water resources planning and management*, 129 (6); 443–457.
- Hsu, N. S. and Cheng, K. W. 2002. Network flow optimization model for basin-scale water supply planning. *Journal of waterway, port, Coastal and Ocean Engineering*, 128 (2); 102–112.
- Hugo, A. L. P. E. 2002. Reservoir design and operation with variable Lake hydrology. *Journal of water resources planning and management*, 128 (6); 399-405.
- Hunag, H., Hassan, A. E. and Hu, B. X. 2003. Monte Carlo study of conservative transport in heterogeneous dual-porosity media. *Journal of hydrology*, 275 (3-4); 229–241.
- Işık, S. 2001. Sulama amaçlı bir barajın optimum işletme modelinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Jacobs, J. M. and Vogel, R. M. 1998. Optimal allocation of water withdrawals in a river basin. *Journal of water resources planning and management*, 124 (6); 357–363.
- Jain, S. K., Goel, M. K. and Agarwal, P. K. 1998. Reservoir operation studies of Sabarmati system, India. *Journal of water resources planning and management*, 124 (1); 31–37.
- Jain, S.K., and Singh, V.P. 2003. *Water Resources Systems Planning and Management. Developments in Water Science 51*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 890.
- Jain, S.K., D. Das, D. and Srivastava, D. K. 1999. Application of ANN for reservoir inflow prediction and operation. *Journal of water resources planning and management*, 125 (5); 263–271.
- Jairaj, P. G. and Vedula, S. 2003. Modeling reservoir irrigation in uncertain hydrologic environment. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 129 (3); 164–172.

- Kantardzic, M. 2002. Data mining: concepts, models, methods and algorithms. IEEE Press. 360.
- Ketchie, O. D. 2009. Winter hardiness of deciduous fruit trees. Washington State University, Tree Fruit Research & Extension Center.
- Khan, A. S. and See, L. 2006. Rainfall-Runoff modeling using data driven and statistical methods. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- Liang, Q., Johnson, L. E. and Mohan, S. 1996. Autoregressive decision rule in aggregated reservoir operation. Journal of water resources planning and management., 122 (6); 438–440.
- Lobbrecht, A. H. and Solomantine, D.P. 1999. Control of water levels in polder areas using neural networks and fuzzy adaptive systems. Journal of water industry system: modeling and optimization applications, 1; 509-518.
- Loucks, D. P. and Beek, E. V. 2005. Water resources systems planning and management, an introduction to methods, models and applications. studies and reports in hydrology, Unesco publishing. 680.
- Lund, J. R. and Guzman, J. 1999. Derived operating rules for reservoirs in series or in parallel. Journal of water resources planning and management, 125 (3); 143–153.
- Mahabir, C., Hicks, F. E., and Fayek, A. R. 2003. Application of fuzzy logic to forecast seasonal runoff. Journal of hydrological processes, 17 (18); 3749–3762.
- Mathlouthi, M. and Lebdi, F. 2008. Event in the case of a single reservoir: the Ghèzala dam in Northern Tunisia. Journal of stochastic environmental research and risk assessment, 22 (4); 513-529.
- Mays, L. W. and Tung, Y. K. 1992. Hydrosystems Engineering and Management, McGraw-Hill Inc. 530.
- Merzi, N., Usul, N. and Molu, M. 1997. Dam-break flood in a natural channel: A Case Study, Aslantas Dam. Turkish journal of engineering and environmental sciences, 21 (1); 19–27.
- Monteseri, M. and Adeloye, A. J. 1999. Critical period of reservoir systems for planning purpose. Journal of hydrology, 224 (3-4); 115–136.

- Monteseri, M. Adeloye, A. J. 2002. Effects of integrated planning on capacity-yield-performance function. *Journal of water resources planning and management*, 128 (6); 456–461.
- Nandakumar, N. and Mein, R. G. 1997. Uncertainty in rainfall-runoff model simulations and the implications for predicting the hydrologic effects of land-use change. *Journal of hydrology*, 192 (1-4); 211–232.
- Nandalal, K.D.W. and Sakthivadivel, R. 2002. Planning and management of a complex water resource system: Case of Samanlalawewa and Udawalawe reservoirs in the Walawe River, Sri Lanka. *Agricultural water management*, 57 (3); 207–221.
- Needham, J. T., Watkins, D. W., Lund, J. R. and Nanda, S. K. 2000. Linear programming for flood control in the Iowa and Des Moines rivers. *Journal of water resources planning and management*, 126 (3); 118–127.
- Ocak, A. and Bayazit, M. 2003. Linear reservoirs in series model for unit hydrograph of finite duration. *Turkish journal of engineering and environmental sciences*, 27 (3); 107–114.
- Oğuz, B. and Bayazit, M. 1991. Statistical properties of the critical period. *Journal of hydrology*, 126 (3-4); 183–194.
- Öztürk, F. ve Özbek, L. 2004. Matematiksel modelleme ve simülasyon. Gazi kitap evi. 356. Ankara.
- Ozturk, F., Yurekli, K. and Apaydin, H. 2008. Stochastic modeling of suspended sediment from Yesilirmak basin, Turkey. *International Journal of natural and engineering sciences*, 2 (1); 21–27.
- Panigrahi, D. P. and Mujumdar, P. P. 2000. Reservoir operation modeling with fuzzy logic. *Journal of water resources management*, 14 (2); 89–109.
- Peng, C. and Buras, N. 2000. Practical estimation of inflows into multi reservoir system. *Journal of water resources planning and management*, 126 (5); 331–334.
- Philbrick, C. R. and Kitanidis, P. K. 1999. Limitations of deterministic optimization applied to reservoir operations. *Journal of water resources planning and management*, 125 (3); 135–142.
- Quinlan, J. R. 1993. C4.5 Programs for machine learning, Morgan, Kaufmann, San Mateo, Calif.

- Rahman, A., Weinmann, P. E., Hoang, T. M. T. and Laurenson, E.M. 2002. Monte Carlo simulation of flood frequency curves from rainfall. *Journal of hydrology*, 256 (3-4); 196–210.
- Ravikumar, V. and Venugopal, K. 1998. Optimal operation of South Indian irrigation systems. *Journal of water resources planning and management*, 124 (5); 264-271.
- ReVelle, C. S., Whitlatch, E. E. and Wright, J. R. 2004. *Civil and Environmental Systems Engineering*. 2nd Ed., Prentice Hall. 552.
- Rosenthal, R. E. 2008. *GAMS user's guide*. GAMS Development Corporation. USA. 281.
- Sahoo, G. B., Loof, R. C., Abernethy, L. and Kazama, S. 2001. Reservoir release policy for large irrigation system. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 127 (5); 302–310.
- Sattari, M.T., Fakher-Fard, A., Docherkhesaz, M. ve Öztürk, F. 2007. Yapay sinir ağıları yöntemi ile sulama amaçlı savalan rezervuarının simülasyonu. *Ankara Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 4 (13); 337-345.
- Sattari, M.T., Kodal, S. ve Öztürk, F. 2006. Application of deterministic mathematical method in optimizing the small irrigation reservoir capacity. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19 (2); 261–267.
- Sattari, M.T., Salmasi, F ve Öztürk, F. 2008. Sulama amaçlı hazne kapasitesinin belirlenmesinde çeşitli yöntemlerin karşılaştırılması. *Ankara Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 14 (1); 1-94.
- Seckler, D.W., Barker, R. and Amarasinghe, U. 1998. Water scarcity in the twenty-first century. *International journal of water resources development*, 15 (1-2); 29–43.
- Seytoux, H. J. M. 1999. Optimal deterministic reservoir operations in continuous time. *Journal of water resources planning and management*, 125 (3); 126-134.
- Sharif, M. and Wardlaw, R. 2000. Multi reservoir systems optimization using genetic algorithms: case study. *Journal of computing in civil engineering*, 14 (4); 255–263.

- Shrestha, B.P., Duckstein, L. and Stakhiv, E.Z. 1996. Fuzzy rule-based modeling of reservoir operation. *Journal of water resources planning and management*, 122 (4); 262-269.
- Sinha, A. K., Rao, V. B. and Bischof, C. H. 1999a. Nonlinear optimization model for screening multipurpose reservoir systems. *Journal of water resources planning and management*, 125 (4); 229–233.
- Sinha, A. K., Rao, V. B. and Lall, U. 1999b. Yield model for screening multipurpose reservoir systems. *Journal of water resources planning and management*, 125 (6); 325–332.
- Solomatine, D. P. 2002. Application of data-driven modeling and machine learning in control of water resources. *Computational intelligence in control*. Idea Group Publishing. 197–217.
- Solomatine, D. P. and Dulal, K. N. 2003. Model trees as an alternative to neural networks in rainfall-runoff modeling. *Hydrological sciences journal*, 48 (3); 455-472.
- Srdjevic, B., Medeiros, Y. D. P. and Portoc, R. L. 2005. Data envelopment analysis of reservoir system performance. *Computers & operations research*, 32(13)., 3209–3226.
- Srinivasan, K., Neelakantan, T. R., Narayan, P. S. and Nagarajukumar, C. 1999. Mixed-integer programming model for reservoir performance optimization. *Journal of water resources planning and management*, 125 (5); 298-301.
- Sudha, V., Ambujam, N. K. and Venugopal, K. 2006. A data mining approach for deriving irrigation reservoir operating rules. *Conference on water observation and information system for decision support*, Orhid, Macedonia.
- Suresh, K. R. and Mujumdar, P. P. 2004. A fuzzy risk approach for performance evaluation of an irrigation reservoir system. *Journal of agriculture water management*, 69 (3); 159–177.
- Teixeira, A. S. and Marino, M. A. 2002. Coupled reservoir operation-irrigation scheduling by dynamic programming. *Journal of water resources planning and management*, 128 (2); 63–73.
- Tilmant, A., Vanclooster, M., Duckstein, L. and Persoons, E. 2002. Comparison of fuzzy and nonfuzzy optimal operating policies. *Journal of water resources planning and management*, 128 (6); 390–398.

- Tu, M. Y., Usu, N. S. and Yeh, W. G. 2003. Optimization of reservoir management and operation with hedding rules. *Journal of water resources planning and management*, 129 (2); 86–97.
- Turgeon, A. 2005. Daily operation of reservoir subject to yearly probablistic constraints. *Journal of water resources planning and management*, 131 (5); 342–350.
- Üneş, F. 1996. Baraj hacmi ve işletme politikasının belirlenmesinde ihtimal kısıtlı doğrusal programlama yönteminin kullanılması ve muhtelif barajlara uygulanması. Yüksek Lisan Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Çukurova Üniversitesi. Adana.
- Velickov, S. and Solomatine, D. P. 2000. Predictive data mining: practical examples. artificial intelligence in civil engineering. Proc 2nd Joint, Workshop. Cottbus. Germany. ISBN 3–934934–00–5.
- Vogal, R. M., Lane, M., Ravindiran, R. S. and Kirshen, P. 1999. Storage reservoir in the United states. *Journal of water resources planning and management*, 125 (5); 245–254.
- Waller, L. A., Smith, D., Childs, J. E. and Real, L. A. 2003. Monte Carlo assessment of goodness-of-fit for ecological simulation models. *Journal of Ecological Modeling*, 164 (1); 49–63.
- Wurbs, R. A. 2002. State-Frequency analyses for urban flood control reservoirs. *Journal of hydrologic engineering*, 7 (1); 35–42.
- Wurbs, R. A. 2005. Comparative evaluation of generalized river/reservoir systems models. Texas water resources institute. 65-82
- Yurtal, R. 1997. Chance-constrained linear programming method in determining the reservoir storage capacity and operation policy. *Turkish journal of engineering and environmental sciences*, 21 (3); 155–160.
- Zadeh, L. 1965. Fuzzy sets, *Inf. Control* (8); 338-353.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mohammad Taghi SATTARI

Doğum Yeri : Tebriz, İran

Doğum Tarihi : 21.07.1973

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Şehit Gazi Lisesi, Tebriz, İran

Lisans : Tebriz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Su Mühendisliği Bölümü, Tebriz, İran (1996)

Yüksek Lisans: İsfahan Teknik Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Su Mühendisliği Bölümü, İsfahan, İran (2001)

Çalıştığı Kurum

Tebriz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Su Mühendisliği Bölümü, Tebriz, İran, (1994–2005)

Yayınları

1. **Sattari, M.T.**, Apaydin, H. and Öztürk, F. 2009. Operation analysis of Eleviyan irrigation reservoir dam by optimization and stochastic simulation, Journal of stochastic environmental research and risk assessment (Accepted for publishing).
2. **Sattari, M.T.**, Apaydin, H. and Öztürk, F. 2009. Operation analysis of irrigation reservoir dam in low-flow conditions Case study: Eleviyan reservoir. Water international (Under viewing)

3. **Sattari, M.T** and Kadri Yurekli, 2009. Modeling daily flows released from Eleviyan irrigation reservoir based on two approaches. Journal of water resources management (Under viewing).
4. **Sattari, M.T.**, Salmasi, F. ve Öztürk, F. 2008. Comparison of different methods used in determination of irrigation reservoir capacity. Turkish journal of agricultural science. Ankara University. 14(1), 1-7.
5. **Mohammad T. Sattari**, A. Fakher-Fard, Mohammad Docherkhesaz, Fazlı Öztürk. 2007. Simulation of Savalan irrigation reservoir by using artificial neural networks. Turkish journal of agricultural science. Ankara University 13 (4). 337-345.
6. **Sattari, M.T.**, Esmailzadeh, B. and Fakher-Fard A., 2007. Simulation of stochastic inflow to an irrigation reservoir and performance analysis, Journal of agriculture science, 16(4), Tabriz University, Tabriz, Iran.
7. **Sattari, M.T.**, Kodal, S. and Öztürk F., 2006. Application of deterministic method in optimizing small irrigation reservoir capacity. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Journal of the Faculty of Agriculture, 19(2), 261-267. Turkey.
8. **M.T. Sattari**, A. Abrishamchi and S.S. Eslamian, 2002, "Simulating water distribution in Kalamarz multi-reservoir system, Mianeh basin" Journal of agriculture Science, 12(3). Tabriz University, Tabriz, Iran.
9. **M.T. Sattari**, S.S. Eslamian and A. Abrishamchi, 2003, "Optimization of water distribution in Kalamarz multi-reservoir system, Mianeh basin" Esteghlal urnal of engineering, 21(2), Isfahan University of technology, Isfahan, Iran.
10. **M.T. Sattari**, A.H. Nazemi and D. Farsadizadeh, 2003, "Application of LP in optimizing Qeysereq singel-purpose reservoir volume". Water Supply and drainage for buildings-proceeding of 29th International symposium. Edited by V. Demircay & A. Tavukcuoglu. Published in 2003 by METU Faculty of Architecture Press, Ankara, Turkiye. ISBN 975-429-209-4.
11. S.S. Eslamian, **M.T. Sattari** and R. Nazari, 2004 "Optimization and simulation of water distribution in small multi-reservoir system". The sixth international conference on hydro-science and engineering, Brisbane, Australia.

12. **M.T. Sattari**, S.S. Eslamian and A. Abrishamchi, 2003, "Optimization of water consume in a 9 reservoir river system, Civil engineering-proceeding of 6th international conference. Isfahan University of Technology, Iran.
13. **M.T. Sattari**, B. Esmailzadeh and M.B. Mashahir, 2003," Optimum allocation of water in two propose (water Supply & Irrigation) reservoirs. Civil Engineering-proceeding of 1st national congers. Sharif University of Technology, Iran.